



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
DA ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE DAS INSTITUIÇÕES



**Doutorado em Desenvolvimento
e Meio Ambiente**

**Associação Plena
em Rede**



RODRIGO GALLOTTI LIMA

**ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE NITROGÊNIO REATIVO EM DUAS
INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL**

SÃO CRISTÓVÃO/SE
2018

RODRIGO GALLOTTI LIMA

**ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE NITROGÊNIO REATIVO EM DUAS
INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título em Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe.

Orientadora: Dra. Laura Jane Gomes

Coorientadora: Dra. Anita Maria de Lima

**SÃO CRISTÓVÃO/SE
2018**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

L732e Lima, Rodrigo Gallotti.
Estimativa da geração de nitrogênio reativo em duas instituições de ensino superior da região Nordeste do Brasil / Rodrigo Gallotti Lima; orientadora Laura Jane Gomes. - São Cristóvão, 2018.
96 f. : il.

Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) –
Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Nitrogênio - Fluxo. 2. Universidades e faculdades – Sergipe - Bahia. 3. Ciclo do nitrogênio. 4. Gestão ambiental. I. Gomes, Laura Jane, orient. II. Título.

CDU 661.5:502


RODRIGO GALLOTTI LIMA

**ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE NITROGÊNIO REATIVO EM DUAS
INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR DA REGIÃO NORDESTE DO
BRASIL**


Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, como requisito final para obtenção do título em Doutor (a) em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe.

Aprovado em 25 de 05 de 2018


BANCA EXAMINADORA



Dra. Laura Jane Gomes
Universidade Federal de Sergipe
Orientadora




Dr. Sergio Luis Martins dos Santos
Universidade Federal de Sergipe
Examinador Interno.



Dr. Alceu Pedrotti
Universidade Federal de Sergipe
Examinador Interno



Dra. Isabel Cristina Barreto Andrade
Universidade Tiradentes
Examinadora Externa

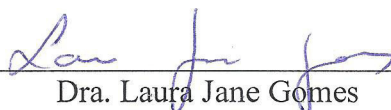


Dra. Danielle Thais Barros de Souza Leite
Universidade Tiradentes
Examinadora Externa

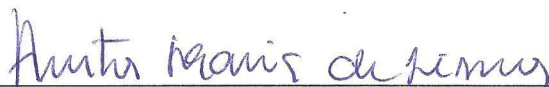
São Cristóvão/SE
Maio, 2018.

DECLARAÇÃO DE VERSÃO FINAL

Este exemplar corresponde à versão da Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluído no Programa em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).



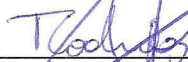
Dra. Laura Jane Gomes
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe



Dra. Anita Maria de Lima
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe

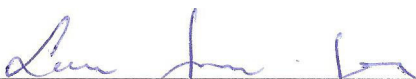
CESSÃO DE DIREITOS

É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Curso de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta Tese e emprestar ou vender tais cópias.



Rodrigo Gallotti Lima

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe.



Dra. Laura Jane Gomes

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe.



Dra. Anita Maria de Lima

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe.

A Deus e a minha família
pela vida saudável, repleta
de ensinamentos,
orientações, educação e
incentivos.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por me dar condições de realizar esse grande sonho!!! A minha família: meu pai, por tudo que o senhor fez por mim, todo o apoio incondicional dado em todos os momentos da minha vida. Meu pai te amo muito!! A minha mãe pelas orientações e preocupações. Minha irmã que tanto me deu força e incentivo em vários momentos tão difíceis, te amo irmã! A meus irmãos que também contribuíram direta e indiretamente para que este dia chegasse. Essa vitória dedico a todos vocês!

Fernanda minha linda esposa, pelo companheirismo, as reflexões, a firmeza nas horas mais difíceis, o apoio fundamental na minha vida, sem palavras...

Às Professoras Dra.ªs Laura Jane e a Anita Maria, minhas orientadoras sempre muito atenciosas e amigas...vocês foram essenciais à realização desse sonho! Serei eternamente grato por isso!

Aos Professores, Dr. Sergio Luís e Dr. Alceu Pedrotti que contribuíram significativamente desde os primeiros seminários de tese!

À Professora Dra. Ruth Sales que tenho muita estima e gratidão! E ao Professor Dr. Lício Valério que sempre me incentivou e me deu forças desde a fase de seleção de doutorado.

A Dra. Maria José, Coordenadora do PRODEMA/UFS expresso minha eterna gratidão por ser uma pessoa corajosa, ética e justa!

Às amigas e parceiras Danielle, Lorena e Sara que sempre me acompanharam desde o início dessa jornada e que dividiram comigo muitos momentos nas diversas atividades nesse Doutorado!!

E a todos que direta e indiretamente foram corresponsáveis por este produto final.

Muito obrigado por possibilitarem essa experiência enriquecedora e gratificante, da maior importância para meu crescimento profissional e pessoal.

MUITO OBRIGADO A TODOS!

“O segredo do sucesso é a constância do propósito. ”
Benjamin Disraeli

RESUMO

O Nitrogênio em sua forma molecular (N_2) é um gás disponível que compõe 78% do ar atmosférico e caracteriza-se por ser um gás estável e inerte. Já as demais espécies reativas de base nitrogenada (N_r) são geradas através de inúmeros processos, tanto de origem natural como de origem antrópica. Quando mal aplicado trata-se de um agente danoso à agricultura e florestas. O mesmo átomo de N_r pode causar múltiplos efeitos indesejáveis na atmosfera, nos ecossistemas terrestres e aquáticos bem como na saúde humana. Esses efeitos são conhecidos como efeitos da cascata de nitrogênio. O presente trabalho tem por objetivo estimar as fontes de N_r no Campus Ondina da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e no Campus São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe (UFS), bem como propor alternativas para mitigar e/ou compensar, a geração de N nestes campus. Para tal, esta tese de caráter exploratório fez uso de revisão bibliográfica e de visitas de campo em ambos os campus para obtenção dos dados de energia elétrica consumida, viagens terrestres e aéreas realizadas pela comunidade acadêmica, alimentos, resíduos e efluentes dos campus dentre outros necessários à estimativa de cálculo das referidas emissões. Como resultados principais observou-se que no tocante ao Campus Ondina da UFBA, foram estimadas as suas fontes, onde a mais alta emissão foi referente às viagens aéreas desse campus realizadas pela população acadêmica que representa cerca de 60% de toda emissão do campus. Já para o Campus São Cristóvão da UFS, a mais alta emissão estimada foi referente ao transporte de ônibus que servem à comunidade acadêmica, que representou cerca de 30% da emissão total do referido campus. Constatou-se a existência de diversos aspectos ambientais negativos em ambas instituições, tais como o significativo desperdício de alimentos, uso desnecessário de equipamentos consumidores de energia, uso irracional de combustível em carros oficiais dos campus, uso de muitos carros particulares com apenas um indivíduo, redução drástica de áreas verdes para construção de edificações, dentre outros. Diante dos diagnósticos realizados, sugeriu-se diversas ações mitigadoras para minimização da geração do nitrogênio reativo nesses campus, principalmente com foco nos aspectos identificados com maior valor de emissão, a saber: redução das viagens aéreas optando pelo uso de tecnologia de informática, quando a viagem for justificada para fins de avaliação de trabalhos acadêmicos; Redução do uso de dietas a base de proteína animal; Incentivar o uso de transporte coletivo quando possível bem como gerar um programa de caronas no caso dos carros particulares; Segregar, tratar e armazenar a urina gerada no campus, aproveitando como fertilizante para as áreas verdes etc.

Palavras-chave: Ciclo do Nitrogênio. Fluxo de nitrogênio. Campus sustentáveis. Gestão ambiental.

ABSTRACT

Nitrogen in its molecular form (N_2) is an available gas that makes up 78% of the atmospheric air and is characterized by being a stable and inert gas. The other nitrogen-based reactive species (N_r) are generated through innumerable natural and anthropogenic processes. When poorly applied, it is an agent harmful to agriculture and forests. The same N_r atom can cause multiple undesirable effects on the atmosphere, on terrestrial and aquatic ecosystems as well as on human health. These effects are known as effects of the nitrogen cascade. The present work aims to estimate the sources of N_r at the Ondina Campus of the Federal University of Bahia (UFBA) and the São Cristóvão Campus of the Federal University of Sergipe (UFS), as well as propose alternatives to mitigate and/or compensate, the generation of N_r on these campuses. To do so, this exploratory thesis made use of bibliographical review and field visits in both campuses to obtain the data of electric energy consumed, terrestrial and aerial trips made by the academic community, food, waste and effluent of the campus among others necessary estimate of such emissions. As main results, it was observed that in relation to Ondina Campus by UFBA, its sources were estimated, where the highest emission was related to the aerial trips of this campus carried out by the academic population that represents about 60% of all campus broadcasting. As for São Cristóvão Campus by UFS, the highest estimated emission was related to the transportation of buses that serve the academic community, which represented about 30% of the total emission of said campus. There were several negative environmental aspects in both institutions, such as the significant waste of food, unnecessary use of energy-consuming equipment, irrational use of fuel in official cars of the campus, use of many private cars with only one individual, drastic reduction of green areas for construction of buildings, among others. In view of the diagnoses made, several mitigating actions were suggested to minimize the generation of reactive nitrogen in these campuses, mainly focusing on the aspects identified with higher emission value, namely: reduction of air travel opting for the use of computer technology, when justified for the purpose of evaluating academic work; Reduction of the use of animal protein based diets; Encourage the use of collective transportation when possible as well as generate a carpool program in the case of private cars; Segregate, treat and store urine generated on campus, taking advantage of fertilizer for green areas etc.

Keywords: Nitrogen Cycle. Flow of nitrogen. Sustainable Campus. Environmental management.

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1: Declarações ambientais e as IES | 38 |
| Quadro 2: Fontes dos dados utilizados para pesquisa e modelo matemático utilizado na estimativa..... | 58 |
| Quadro 3: Representatividade das maiores emissões do Campus Ondina - UFBA | 76 |
| Quadro 4: Representatividade das maiores emissões do Campus São Cristóvão - UFS..... | 77 |
| Quadro 5: Sugestões de ações para mitigação da emissão do N_r nos campus estudados | 79 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Tendências mundiais entre 1900 e 2012 na população humana e de criação de N_r antropogênico total de todo o século 20. | 24 |
| Figura 2: Ciclo do N_r | 25 |
| Figura 3: Efeitos do N_r de acordo com tempo e espaço. | 26 |
| Figura 4: Subsistemas afetados no planeta. | 27 |
| Figura 5: Os limites do N_r referente aos processos ambientais que colocam a Terra em risco. | 28 |
| Figura 6: Fronteiras planetária..... | 29 |
| Figura 7: Entradas e Saídas de insumos e subprodutos uma IES. | 42 |
| Figura 8: Exigências no credenciamento das IES – INEP..... | 51 |
| Figura 9: Dimensão socioambiental das IES – INEP | 51 |
| Figura 10: Emissões do Campus Ondina – UFBA, expressas em kg N ano^{-1} | 76 |
| Figura 11: Emissões do Campus São Cristóvão – UFS, expressas em kg N ano^{-1} | 77 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------------------|--|
| C | Carbono |
| CFC | Clorofluorcarbono - Gases de efeito estufa |
| CO | Monóxido de C |
| CO ₂ | Dióxido de C |
| COV | Composto Orgânico Volátil |
| DNA/ADN | Ácido desoxirribonucleico |
| FBN | Fixação Biológica de N |
| IES | Instituição de Ensino Superior |
| MP/PM | Material Particulado |
| N | Nitrogênio |
| N ₂ | Nitrogênio molecular |
| N _r | Nitrogênio reativo |
| NH ₃ , | Amônia |
| NH ₄ | Amônio |
| NO _x | Óxidos de N |
| NO | Óxido de N |
| NO ₂ | Nitrito |
| NO ₃ ⁻ | Nitrato |
| N ₂ O | Óxido nitroso |
| HNO ₃ | Ácido nítrico |
| O ₂ | Oxigênio |
| P | Fósforo |
| UE | União Europeia |
| UFBA | Universidade Federal da Bahia |
| UFS | Universidade Federal de Sergipe |
| UVA | University of Virginia |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------------|------------------------------------|
| % | percentual |
| mm | milímetros |
| cm | centímetros |
| m | metro |
| ha | hectare |
| m ² | metro quadrado |
| l | litro |
| °C | grau celsius |
| ppm, ppb | parte por milhão, parte por bilhão |
| kg | quilograma |
| t | tonelada |

LISTA DE TERMOS TÉCNICOS

| | |
|---------------------------|---|
| Anoxia | parada do fornecimento de O ₂ |
| Eutrofização/Eutroficação | crescimento de algas em excesso em um manancial por conta do despejo de nutrientes (N e P) |
| Exsudação | líquido que, transudando pelos poros de uma planta ou um animal, adquire consistência viscosa na superfície onde aparece. |
| Hipoxia | redução do fornecimento de O ₂ |
| Run off | escoamento superficial |
| SMOG | impacto indesejável decorrente da poluição atmosférica |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 17 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 22 |
| 2.1. <i>O Nitrogênio e a sua importância</i> | 22 |
| 2.2. <i>Alterações no Ciclo do N.....</i> | 23 |
| 2.3. <i>Consequências das alterações do Ciclo do N, riscos para humanidade e meio ambiente.....</i> | 26 |
| 2.4. <i>Educação e Sustentabilidade</i> | 37 |
| 2.4.1. <i>Histórico ambiental na educação e o papel das Instituições de Ensino Superior (IES) para com a sustentabilidade</i> | 37 |
| 2.4.2. <i>Consumo de recursos e o significativo potencial poluidor das IES</i> | 41 |
| 2.4.3. <i>Ferramentas, instrumentos, programas e ações de sustentabilidade nas IES</i> | 43 |
| 2.4.4. <i>Barreiras na implantação das metodologias de sustentabilidade nas IES</i> | 52 |
| 3. METODOLOGIA | 56 |
| 3.1. <i>Campus Ondina – UFBA</i> | 56 |
| 3.2. <i>Campus São Cristóvão – UFS</i> | 57 |
| 3.3. <i>Fontes de dados</i> | 57 |
| 3.4. <i>Modelos Matemáticos</i> | 60 |
| 4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS | 65 |
| 4.1. <i>Energia.....</i> | 65 |
| 4.1.1. <i>UFBA</i> | 65 |
| 4.1.2. <i>UFS.....</i> | 65 |
| 4.2. <i>Transportes terrestres.....</i> | 66 |
| 4.2.1. <i>UFBA</i> | 66 |
| 4.2.2. <i>UFS.....</i> | 67 |
| 4.3. <i>Transporte aéreo.....</i> | 69 |
| 4.3.1. <i>UFBA</i> | 69 |
| 4.3.2. <i>UFS.....</i> | 70 |
| 4.4. <i>Alimentos que entram no campus</i> | 71 |
| 4.4.1. <i>UFBA</i> | 71 |
| 4.4.2. <i>UFS.....</i> | 71 |
| 4.5. <i>Resíduos dos alimentos que entram no campus.....</i> | 72 |
| 4.5.1. <i>UFBA</i> | 72 |
| 4.5.2. <i>UFS.....</i> | 72 |
| 4.6. <i>Efluentes dos alimentos que entram no campus</i> | 72 |

| | |
|--|-----------|
| 4.6.1. UFBA | 72 |
| 4.6.2. UFS..... | 73 |
| 4.7. <i>FBN</i> | 73 |
| 4.7.1. UFBA | 73 |
| 4.7.2. UFS..... | 73 |
| 4.8. <i>Deposição Atmosférica de N</i> | 74 |
| 4.8.1. UFBA | 74 |
| 4.8.2. UFS..... | 74 |
| 4.9. <i>Resíduos das áreas verdes</i> | 74 |
| 4.9.1. UFBA | 74 |
| 4.9.2. UFS..... | 75 |
| 4.10. <i>Run off de N</i> | 75 |
| 4.10.1. UFBA | 75 |
| 4.10.2. UFS..... | 75 |
| 4.11. <i>Resultados do Campus Ondina, UFBA</i> | 76 |
| 4.12. <i>Resultados do Campus São Cristóvão, UFS</i> | 77 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 81 |
| REFERÊNCIAS..... | 83 |

1. INTRODUÇÃO

Os séculos XIX e XX foram marcados por um intenso aumento da capacidade de produção e consumo, que consequentemente alterou o cenário mundial sob aspectos não só sociais e econômicos como também ambientais.

A exploração exaustiva da natureza, bem como a degradação e escassez de recursos naturais, o elevado consumo energético, o aumento do volume e diversidade de resíduos, efluentes e emissões geradas são aspectos/impactos ambientais negativos, que têm sido evidenciados cada vez mais. Isso é decorrente de um modelo exploratório que mobiliza um conjunto de atividades nos diversos setores produtivos voltados para diversificação de produtos demandados para atender os “anseios” humanos. Cabe ressaltar que é inexorável a geração de subprodutos de potencial poluidor como resíduos, emissões e efluentes que são descartados no ambiente, causando diversos impactos negativos afetando diretamente a saúde ambiental. Consequentemente, o planeta já apresenta há algum tempo, sinais de crise ambiental e esgotamento.

O efeito estufa, por exemplo, vem ganhando magnitude cada vez maior com o aumento descontrolado das emissões de gases estufa na atmosfera. E isso tem implicado em mais desastres sócio ambientais como enchentes, furacões, maior incidência de câncer e outras doenças que são cada vez mais intensificadas com o passar do tempo. Por outro lado, eventos ambientais importantes como a Conferência de Estocolmo, Rio 92 e as mais recentes como a Rio+20 e o Acordo de Paris em 2015, ainda não obtiveram êxito suficiente a ponto de elaborar um planejamento estratégico definitivo para unir esforços contra as emissões estufa.

Estudos importantes têm sido publicados alertando a comunidade científica à exemplo de perturbações nos biogeociclos do planeta a níveis preocupantes em que se observam impactos com alta magnitude e capacidade de destruição que podem promover alterações na resiliência dos ecossistemas (ROCKSTROM et al., 2009; STEFFEN et al., 2015). Para se ter ideia, o último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) em sua publicação afirma com mais de 95% de certeza que o homem provocou mais da metade da elevação média da temperatura entre 1951 e 2010. Segundo esse relatório, neste interstício temporal, o nível dos oceanos foi elevado em 19

cm e estima-se que, até 2100, o aquecimento global seja provavelmente superior a 2^oC (com probabilidade de 66% de chances de ocorrer), ultrapassando um limite seguro. Diante dessas questões, até o fim deste século, o nível do mar deverá aumentar perigosamente de 45 a 82cm, considerando o pior cenário e o gelo do Ártico poderá diminuir até 94% durante o verão. Além disso, tal relatório, gerado por 259 cientistas, representantes dos governos de 195 países, adverte que parte das emissões de CO₂ continuará a ser absorvida pelos oceanos. Consequentemente, é provável (com 99% de probabilidade) que a acidificação oceânica vai aumentar, impactando ainda mais drasticamente a biota marinha.

Além do ciclo do carbono, outro que já apresenta acelerado processo de alteração é o biogeociclo do nitrogênio (N). Ele é responsável pela troca dinâmica de compostos de N que ocorrem entre a atmosfera, litosfera e hidrosfera. O nitrogênio molecular (N₂) é inofensivo, inerte, ou seja, não reativo, no entanto, os compostos de base nitrogenada (NO, NO₂, N₂O, NH₃, etc), conhecidos como compostos de nitrogênio reativo (N_r), causam diversos impactos indesejáveis. Ações antrópicas têm aumentado as quantidades de N_r no ambiente através de diversas atividades como à queima de combustíveis fósseis, uso de fertilizantes químicos na produção de alimentos, descarte de efluentes domésticos e industriais, queima ou supressão de vegetação, etc.

O N_r influencia significativamente na perda de biodiversidade através de acidificação e eutrofização. Além disso, o NO quando emitido para atmosfera é oxidado a NO₂ em seguida para HNO₃ e rapidamente é removido por deposição úmida e seca introduzindo assim outros tipos de N_r em ecossistemas principalmente sobre continentes tropicais. Já a decomposição de resíduos de animais e fertilizantes inorgânicos por bactérias anaeróbias produzem óxido nitroso (N₂O), que é um gás de efeito estufa forte e também atua diretamente na destruição do ozônio estratosférico. Além disso, a presença de nitratos (NO₃⁻) presentes na composição de fertilizante pode lixiviar e contaminar mananciais subterrâneos, prejudicando a saúde humana ou promover eutrofização em mananciais superficiais e causando mortandade de fauna aquática.

Por um lado, com a geração artificial de N_r (por meio de fertilizantes sintetizados industrialmente) foi possível a produção de mais alimentos e de uma mudança para dietas mais ricas em proteínas, promovendo um importante incremento na produção agrícola

mundial. Entretanto, atualmente as consequências negativas do N_r criado por humanos são cada vez mais evidentes em escala global. Diversos são os limites ultrapassados no tocante a saúde humana e de ecossistemas devido a emissão em excesso de N_r incluindo a qualidade da água potável (devido a presença de nitratos) e qualidade do ar (devido ao efeito *Smog*, às partículas em suspensão, a geração do ozônio troposférico). Eutrofização da água doce e de ecossistemas costeiros causando as zonas mortas, as alterações climáticas e a destruição do ozônio estratosférico também são consequências das alterações do ciclo do N.

O caminho para sustentabilidade implica tanto em ações de desconstrução de lógicas e rotinas ambientalmente equivocadas, como, para uma construção pautada nas boas práticas tendo em vista o caráter preventivo das ações. Neste viés, algumas Instituições de Ensino Superior (IES) no Brasil e no mundo estão atuando ativamente.

A IES atrelada a sua missão inerente a pesquisa e ao ensino, tem sua dimensão e impacto tanto no seu espaço como em comunidades do entorno. Algumas IES já fazem uso de diversas ferramentas e ações voltadas para sustentabilidade em seus campus, a exemplo, de programas de utilização de energias renováveis, uso racional de água, construção de edificações ambientalmente eficientes ou reconversão das já existentes, redução do uso de combustíveis fósseis, cálculo da pegada do carbono e nitrogênio nos campus etc. Outras IES trabalham currículos verdes, integrando a consciência ambiental nos cursos exigidos, ou o desenvolvimento de cursos interdisciplinares ou programas de sustentabilidade. Outros ainda estão se engajando nas comunidades do entorno aplicando boas práticas de sustentabilidade.

Neste sentido, IES por serem diretamente responsáveis pela formação de cidadãos, nos avanços na ciência e no conhecimento e por terem o dever de dar exemplo ao quantificar e controlar seus poluentes gerados por conta de suas diversas atividades administrativas, científicas e de docência, são locais ideais para liderar esta causa, bem como, identificar e quantificar suas fontes de poluentes, a exemplo do N_r gerado.

Dentre as IES que apresentam diversas iniciativas de sustentabilidade, existem duas que direcionaram seus esforços para a questão do ciclo do N. A primeira contemplada na pesquisa de Savanick, Baker e Perry (2007) que objetivou a quantificação de entradas e saídas anuais de N do campus de *Twin Cities*, Universidade de Minnesota.

Já a segunda foi a Universidade de Virginia (UVA), contemplada da pesquisa de Leach, et al., (2013) considerado o primeiro modelo em nível de IES a estimar a pegada de nitrogênio da Universidade de Virginia (UVA), tanto o atual como a projetada para 2025. Tal modelo também é usado para testar cenários sobre as formas mais eficazes para diminuir o nitrogênio (N) na pegada da universidade. No Brasil, até os dias atuais, raras e desatualizadas são as pesquisas que tratam de impactos no ciclo do N e que abordam apenas questões específicas e parciais desse importante biogeociclo. Além disso, ainda não se conhecem pesquisas ou ações existentes em universidades brasileiras referentes a geração/emissão de N_r .

Diante disso, esta tese baseia-se na hipótese de que o modelo proposto por Savanick, Baker e Perry (2009) é viável para a mensuração N_r em IES brasileiras, tendo como universo de estudo o Campus Ondina da UFBA e o Campus São Cristóvão da UFS. Portanto, este trabalho tem por objetivo estimar as fontes de N_r no Campus Ondina da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e no Campus São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe (UFS), localizadas na região nordeste do Brasil, bem como propor alternativas para mitigar e/ou compensar a geração de N_r nos referidos campus.

No tocante a estrutura desta tese a mesma segue configurada no modo clássico de apresentação. O capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, contemplando temas como o nitrogênio e a sua importância para o meio ambiente; causas e consequências das alterações do ciclo do N, bem como os riscos para o meio ambiente e a humanidade a nível mundial; os desafios existentes e as sugestões de ações viáveis. Em seguida, o capítulo trata da sustentabilidade nas IES tratando do histórico ambiental das IES; das diversas metodologias de sustentabilidade e/ou ações realizadas em campus universitários, bem como apresenta desafios e barreiras que essas instituições se deparam ao tentar inserir parâmetros ambientais em suas rotinas cotidianas.

O capítulo 3 contempla a metodologia utilizada para execução desta tese, que se trata de uma pesquisa de caráter exploratório, onde foram realizadas visitas de campo nos campus estudados, bem como, fez uso de revisão bibliográfica para obtenção dos dados necessários à estimativa das emissões de N_r nos referidos campus.

O capítulo 4 aborda toda a análise e interpretação dos resultados referentes às estimativas das emissões nos campus em estudo, onde foram observados os aspectos

ambientais negativos, bem como foram identificados fluxos e estimativas de emissões do N_r nos Campus pesquisados. Ainda neste capítulo foram apresentadas as discussões do trabalho, onde as principais alternativas de redução das emissões identificadas e estimadas nos campus pesquisados foram sugeridas.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais da referida tese, onde são apontadas as principais questões e reflexões, constatação da hipótese, importância social, ambiental e científica deste trabalho e estudos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O Nitrogênio e a sua importância

O nitrogênio (N) na sua forma molecular (N_2) é o elemento mais abundante na atmosfera, além de ser incolor, inodoro e estável, ou seja, não reage facilmente, logo, não pode ser utilizado diretamente por plantas e animais. Algumas bactérias no solo, raízes de plantas, além de sistemas aquáticos são agentes conversores do N_2 para sua forma reativa (N_r), a partir disso, ocorre a absorção do N por plantas e animais. O N_r contempla os nitrogênios inorgânico e orgânico, tais como proteínas, DNA, N_2O , NH_3 , etc (GALLOWAY, 1998; ERISMAN et al., 2007; WARD, 2012; GALLOWAY, et al., 2014; WWF, 2015).

Em ecossistemas terrestres, o N_2 precisa ser transformado em N_r para que os animais e as plantas possam utilizá-lo. Isso pode acontecer naturalmente de três modos: fixação biológica de N (FBN), raios e erupções vulcânicas (GALLOWAY et al., 2003). A FBN é a fonte natural dominante, que produz amoníaco (NH_3) no solo e ainda é responsável pela produção de 90% do total N_r natural nos ecossistemas terrestres (FOWLER et al., 2013). Este processo é realizado por organismos, como os que vivem em simbiose com organismos superiores (a exemplo de plantas da família das leguminosas). Já os raios produzem formas oxidadas (NO_x) na troposfera, que por fim é depositado na superfície da Terra. As erupções vulcânicas liberam N_r da crosta terrestre armazenados na forma de amônia (NH_3). Em suma, os três processos naturais de fixação produzem cerca de 63 Tg N ano^{-1} em ecossistemas terrestres. Já a FBN marinha equivale a $140 \text{ Tg N ano}^{-1}$, desses, parte é enterrado em sedimentos, o resto eventualmente é desnitrificado e retorna para atmosfera como N_2 ou N_2O (FOWLER et al., 2013).

No tocante as suas funcionalidades, o biogeociclo do N participa ativamente de todos os compartimentos ambientais do planeta, fato que o torna fundamental à biota, inclusive para vida humana, pois, cerca de 16% do corpo humano são constituídos por proteínas, sendo o N um de seus principais componentes. Além disso, o nitrogênio é elemento chave nas mais diversas atividades humanas, a exemplo da indústria de cosméticos, como um substituto para os gases CFC's nos refrigeradores, armamentos,

explosivos, alimentação humana e animal, agricultura, pecuária, dentre outros (ERISMAN et al., 2007). Para animais e vegetais o N é nutriente essencial para seu desenvolvimento.

O ciclo do nitrogênio tem sido perigosamente alterado pela ação antrópica ao longo dos últimos 100 anos. Para se ter ideia, cerca de dois terços do fluxo anual de N_r que entra na atmosfera desde o início do século 21 foi gerado por ações antrópicas (GALLOWAY et al., 2004; FOWLER et al., 2013; 2015). Consequentemente, isso tem promovido efeitos danosos a exemplo de mudanças no clima, redução da biodiversidade, danos à saúde humana através de aerossóis e ozônio, etc (ERISMAN et al., 2013; SUTTON et al., 2011). Por outro lado, somente através da fixação industrial do N é que se tornou possível o fornecimento de alimentos para uma população humana global de sete bilhões (SUTTON et al., 2012; ZAEHLE, 2013).

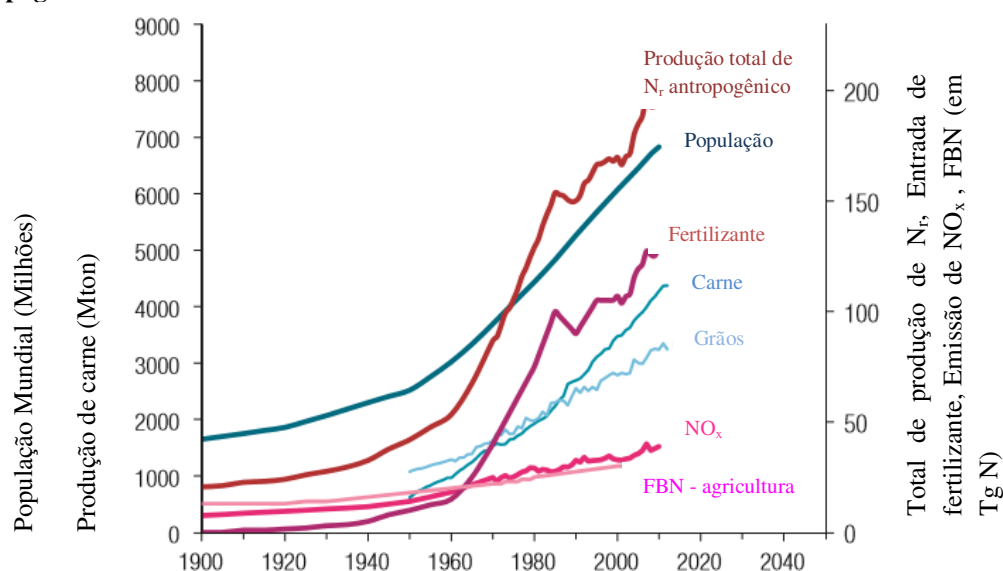
2.2. Alterações no Ciclo do N

O N_r sempre foi o nutriente mais limitante na agricultura, pois, exige uma maior FBN para aumentar a produção agrícola. Os agricultores aplicam esterco nos campos ou usam a enzima nitrogenase ou bactérias como *Rhizobium spp.* (associada com plantas leguminosas) e *Spirillum lipoferum* (associada com ervas de cereais) para fixar N_2 atmosférico e transformá-lo em uma forma absorvível pelas plantas. Estas bactérias existem em uma relação simbiótica com plantas leguminosas. No entanto, a FBN é um processo lento e fornece apenas quantidades limitadas de N_r para a biosfera (WWF, 2015).

Em meados do século 20, os métodos tradicionais de abastecimento de N_r às culturas não mais atendia a crescente demanda por alimentos (ERISMAN et al., 2007). Diante disso, em 1908, Fritz Haber descobriu e patenteou o processo e as condições para criar amônia (NH_3) a partir da fixação de N_2 da atmosfera. Em 1913, Carl Bosch otimizou o sistema de Haber e expandiu o projeto de produção de NH_3 para escala industrial. Os feitos destes pesquisadores conduziram ao processo que atualmente é conhecido como processo Haber-Bosch. Cerca de 40 anos depois, o processo Haber-Bosch foi amplamente introduzido como um componente principal da Revolução Verde na agricultura (ERISMAN et al., 2008; GALLOWAY, 1998; GALLOWAY et al., 2003; 2004; 2013;

2014; WWF, 2015). Em seguida, a produção mundial de alimentos aumentou de modo exponencial, bem como a população humana, como é possível observar na figura 1. Na década de 1970, a produção de NH_3 artificial tornou-se mais importante do que a fixação biológica terrestre de N em ecossistemas não gerenciados em todo planeta (ERISMAN et al., 2008; GALLOWAY, 1998; GALLOWAY et al., 2013). Atualmente a NH_3 produzida industrialmente é abundante e acessível em todas as partes do mundo. Estima-se que, sem o N_r adicional produzido pelo processo Haber-Bosch, apenas 3 bilhões de pessoas (menos de 50% da população global atual) teriam alimento suficiente, dada dietas atuais e as práticas agrícolas (SMIL, 2001; ERISMAN et al., 2007; 2008). Globalmente, cerca de 75% da produção antropogênica de N_r decorre de fixação industrial de N e 25% a partir de combustíveis fósseis e da queima de biomassa, sob a forma de NO_x (GALLOWAY et al., 2013; FOWLER et al., 2013). Atualmente, a produção de N_r voltada para agricultura é mais do que o dobro da quantidade natural pré-industrial produzida nos ecossistemas terrestres (FOWLER et al., 2013; WWF, 2015).

Figura 1: Tendências mundiais entre 1900 e 2012 na população humana e de criação de N_r antropogênico total de todo o século 20.



Fonte: Adaptado de WWF, 2015.

A figura 2, ilustra o ciclo do N_r onde o N circula da atmosfera para a biosfera terrestre e aquática através de compostos orgânicos e, em seguida, de volta para a atmosfera. As plantas assimilam N_r diretamente na forma de nitratos e amônio que podem estar presentes no solo a partir de depósitos minerais naturais, de fertilizantes artificiais,

esterco animal, matéria orgânica em decomposição ou deposição atmosférica, sendo que uma fração significativa de N-fertilizante aplicado na agricultura não é assimilado e é liberado para o meio ambiente. O gado também emite significativas quantidades de N_r sob a forma de NH_3 (devido a reação entre o estrume e urina). O excesso N_r entra no sistema hidrológico através da lixiviação e do escoamento (*Run off*) e segue com fluxo de águas subterrâneas/superficiais ou é emitido para a atmosfera (WWF, 2015).

Figura 2: Ciclo do N_r .

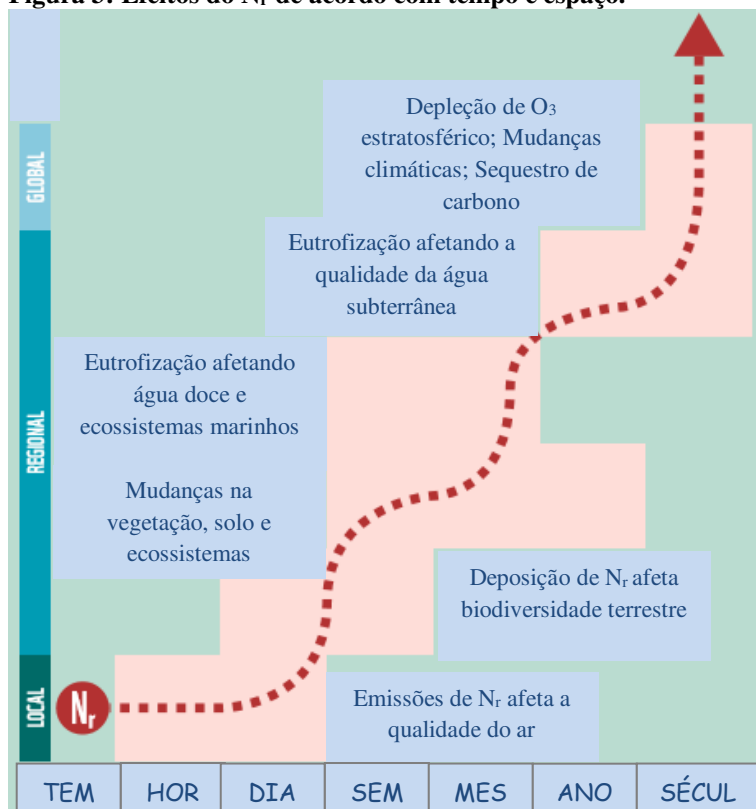


Fonte: Adaptado de WWF, 2015.

O incremento da produção agrícola diante da elevada produção de fertilizantes sintéticos de base nitrogenada foi responsável por impactos positivos na agricultura bem como na nutrição humana a nível mundial, no entanto, trouxe também sérios efeitos ambientais indesejáveis que são cada vez mais potencializados com a alteração do ciclo do N decorrente do excesso de N_r nos diversos compartimentos ambientais do planeta. A exemplo disso, o N_r quando liberado, suas cascatas fluem através da biota e do ambiente físico, alterando formas e promovendo uma série de impactos (Figura 3) a nível local, regional e global ao longo do tempo (GALLOWAY et al., 2003; FOWLER et al., 2013). De acordo com a UNEP (2014) o nitrogênio move-se através do ambiente e o mesmo

átomo de N pode contribuir para múltiplos efeitos negativos no ar, em terra, em sistemas de água doce e marinhos, e sobre a saúde humana. A esta sequência contínua, durante um longo período, denomina-se, “Cascata de N” (GALLOWAY et al., 2003; UNEP, 2014).

Figura 3: Efeitos do N_r de acordo com tempo e espaço.



Fonte: Adaptado de WWF, 2015.

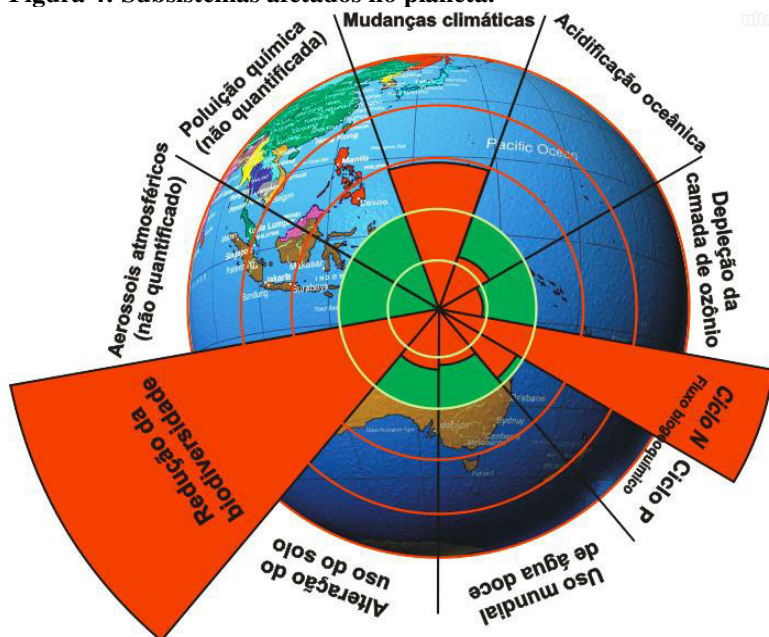
2.3. Consequências das alterações do Ciclo do N, riscos para humanidade e meio ambiente

O uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados bem como o uso de combustíveis fósseis tem alterado radicalmente o ciclo global N. Um fato importante é que nos últimos anos, o ciclo do N tem sido mais alterado do que o ciclo do carbono, dobrando a criação de N_r no planeta, em relação ao aumento da concentração de CO_2 na atmosfera, algo em torno de 20 a 30% (FOWLER et al., 2013; GALLOWAY et al., 2013; WWF, 2015). O processo de aplicação dos fertilizantes sintéticos na agricultura tem baixa eficiência, pois, uma parte expressiva do nitrogênio transformado é liberado para biosfera. A queima de combustíveis fósseis também emite em quantidade, óxidos de nitrogênio à atmosfera. Diante desses lançamentos e do fato de que os humanos convertem mais N_2 da atmosfera em formas de N_r , do que todos os processos naturais da Terra em sistemas terrestres

combinados, diversas alterações perigosas do ciclo de nitrogênio à nível mundial tem ocorrido, além de consequentes perturbações no ciclo do carbono etc (ROCKSTROM et al., 2009; GALLOWAY et al., 2003; 2004; 2008; 2013; 2014; FOWLER et al., 2013; WWF, 2015).

De acordo com Rockstrom et al., (2009) as ações antrópicas já ultrapassaram fronteiras planetárias seguras para alguns subsistemas do planeta. Eles alegam que os limites são compostos por processos naturais que envolvem sistemas que influenciam diretamente a capacidade de resiliência do planeta. Após a identificação dos processos, os autores propuseram fronteiras seguras para cada um que, se ultrapassados, podem causar condições ambientais adversas, colocando em risco milhares de espécies incluindo a humana. Os autores chegaram à conclusão de que três deles já ultrapassaram o limite: Perda de Biodiversidade, Ciclo do N e Mudanças Climáticas. Em uma escala global, a quantidade de N_2 convertidos em N_r a partir de atividades humanas é elevada e já alterou drasticamente o ciclo natural do N (Figura 04). Cabe ressaltar que a alteração do Ciclo do N contribui para perda de biodiversidade e mudanças climáticas uma vez que a ocorre incremento e acúmulo de N_r em reservatórios ambientais, exemplo da atmosfera e dos recursos hídricos.

Figura 4: Subsistemas afetados no planeta.



Fonte: Adaptado de Rockstrom et.al., 2009.

Corroborando com o estudo de Rockstrom et al., (2009), Garcia, Santos e Cardoso (2013) afirmam que interações atmosféricas biogeoquímicas de compostos nitrogenados promovem processos ambientais perigosos ao planeta. De acordo com a figura 05, observa-se que os níveis seguros de cada parâmetro já foram extrapolados com exceção do ciclo do fósforo.

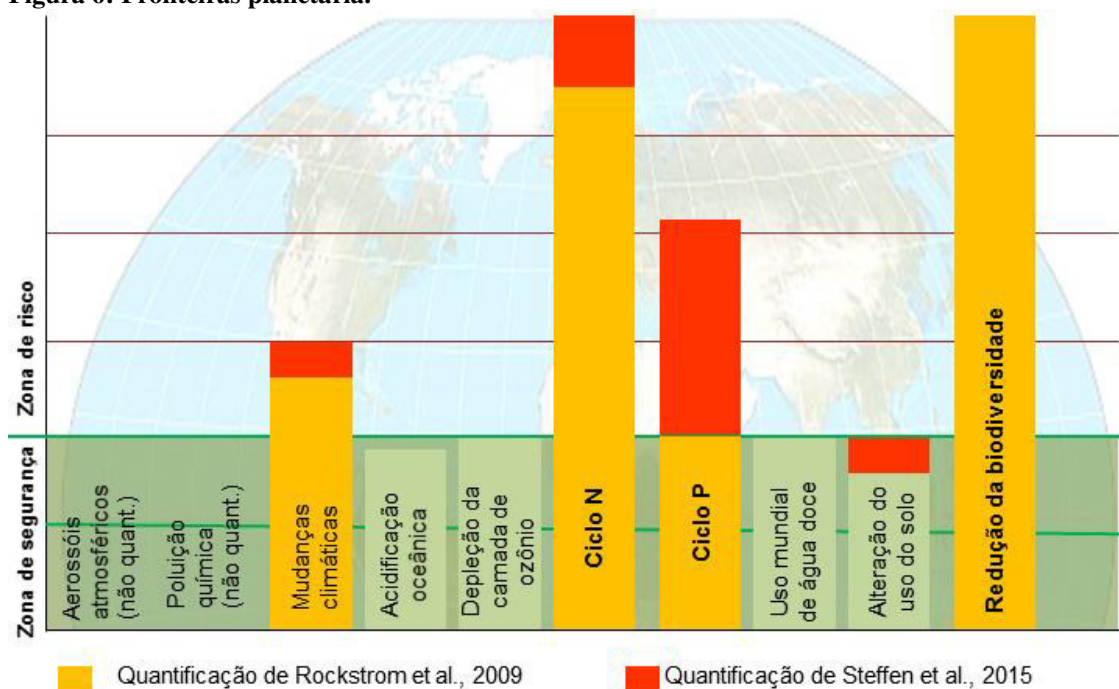
Figura 5: Os limites do N_r referente aos processos ambientais que colocam a Terra em risco.



Fonte: Garcia, Santos e Cardoso, 2013.

Após a publicação de Rockstrom et al., (2009), o cálculo da fronteira limite do N_r foi atualizado e um *link* foi definido entre as fronteiras do N e P com base no acoplamento desses elementos pela relação N:P no crescimento de tecidos de plantas e de organismos aquáticos (WALLIS DE VRIES et al., 2013; STEFFEN et al., 2015). Como resultado, o limite original de 2009 proposto por Rockstrom e colegas foi ampliado. No entanto, o nível atual estimado de N_r removido para uso humano ainda excede o novo limite, extrapolando o limiar crítico por uma larga margem (Figura 06). Além disso, a publicação de Steffen et al., (2015) também aponta a perigosa extrapolação dos limites de segurança dos subsistemas: Mudança do uso do solo; Mudanças Climáticas e Ciclo do P.

Figura 6: Fronteiras planetária.



Fonte: Adaptado de Steffen et al., 2015 e Rockstrom et al., 2009.

A quantidade limite de N_r a ser incorporada a este ciclo biogeoquímico, pela conversão do N_2 em N_r , era de 35 Tg N ano^{-1} (ROCKSTROM et al., 2009). Em 2015 com a pesquisa de Steffen et al., (2015) o limite aumentou para 62 Tg N ano^{-1} , entretanto, $210 \text{ Tg N ano}^{-1}$ são fixadas anualmente (GALLOWAY et al., 2013), o que se traduz em um excesso de $148 \text{ Tg N ano}^{-1}$.

Consequentemente, de acordo com ROCKSTROM et al., 2009; GALLOWAY, 2008; GALLOWAY et al., 2003; 2004; 2014; FOWLER et al., 2013; 2015; ERISMAN et al., 2013; WWF, 2015; UNEP, 2014, este perigoso excesso de nitrogênio no ambiente contribui para diversos impactos sociais, econômicos e ambientais tais como:

- Zonas costeiras mortas promovendo mortandade de peixes devido à eutrofização grave ou hipóxia resultante do escoamento nitrato e da lixiviação em sistemas fluviais;
- A perda de biodiversidade em mananciais devido à eutrofização e acidificação;
- Poluição da água subterrânea por nitratos;
- Poluição de água doce devido à eutrofização e acidificação;
- Impactos na saúde humana devido a formação de aerossóis, bem como de O_3 troposférico causando diversas doenças;

- Redução das colheitas, das florestas e da produtividade de pastagem devido à deposição de nitrogênio e excesso de fertilização, bem como a exposição ao ozônio troposférico;
- Intensificação das mudanças climáticas da Terra e aumento da depleção da camada ozônio estratosférico.

Zonas Mortas, Perda de biodiversidade, Poluição e Eutrofização – São diversos os organismos aeróbios, ou seja, que necessitam de O_2 para seu desenvolvimento. No entanto, são cada vez mais notadas as chamadas “Zonas Mortas”, áreas pobres em oxigênio que são resultantes do excesso de nutrientes nas águas (decorrentes das fontes difusas de nitrogênio, como o nitrato e compostos nitrogenados orgânicos de fertilizantes e adubos na agricultura, que são lixiviados para as águas subterrâneas e escoados para as águas superficiais (UNEP, 2014).

Outras fontes pontuais, como efluentes de estações de tratamento de águas residuárias e sistemas de esgotos, são descarregadas diretamente nas águas de superfície, além da deposição de nitrogênio atmosférico (NH_3 e NO_x) que contribui com ainda mais N_r enriquecendo diversos mananciais como lagos, águas costeiras, mar aberto etc.) que sofrem eutrofização promovendo intensa redução na concentração de oxigênio dissolvido na água dos mananciais e que conseqüentemente afeta diretamente peixes, invertebrados e outros organismos aquáticos (SELMAN et al., 2008; WWF, 2015).

Segundo Diaz et al., (2013) e UNEP (2014) os casos notificados de zonas costeiras mortas têm duplicado nas últimas quatro décadas e que existem mais de 500 zonas mortas conhecidas no mundo, além de cerca de 1000 outras zonas de corais, costeiras e marinhas estão sofrendo os efeitos da eutrofização (BAUMAN et al., 2010). Essas "zonas mortas" estão crescendo em magnitude e extensão geográfica (SELMAN et al., 2008). Cabe ressaltar que parte N_r que segue para as águas é removido através da desnitrificação (SEITZINGER et al., 2006) transformando N_r em N_2 , produzindo também uma fração de N_2O (óxido nitroso), um potente gás de efeito estufa. E o restante é conduzido e transformado através do sistema fluvial contribuindo na elevação da concentração de nitrogênio em corpos d'água. As principais implicações, diretas ou indiretas, do N_r nos meios bióticos (solo, ar e água) estão apresentadas a seguir:

- Mudanças climáticas – De acordo com Erisman et al., (2013), o N_r tem importantes interações com questões climáticas, sendo os efeitos mais importantes:
 - Geração de N_2O – pode ser resultante da produção industrial de fertilizantes pela combustão incompleta ou ação microbiana e pela nitrificação (após aplicação de fertilizantes e estrume nos solos). O excesso N_r também pode levar à hipóxia e anoxia no oceano e águas superficiais, aumentando as taxas de desnitrificação e liberação N_2O . Este gás é o terceiro mais importante no que se refere ao efeito estufa e tem um potencial de aquecimento global 300 vezes maior do que o CO_2 (UNEP, 2014; WWF, 2015), contribuindo com cerca de 8% para o total de gases de efeito estufa (IPCC, 2013; ERISMAN et al., 2011);
 - A nível do solo ocorre formação de O_3 a partir do NO_x que é um gás estufa importante; também é gerado na troposfera como resultado de NO_x e as emissões de compostos orgânicos voláteis (COV), como efeito do SMOG fotoquímico. O O_3 altera a dinâmica da produtividade das plantas que repercute na redução da absorção do CO_2 atmosférico (WWF, 2015).
 - A deposição N_r em zonas úmidas pode aumentar a produção de plantas vasculares, elevando a exsudação de compostos de carbono de baixo peso molecular, tais como acetato (importante fonte de substrato para alguns grupos de Archaea metanogênicas). Uma mudança nas plantas vasculares, tais como Cyperaceae, aumenta a taxa de liberação de CH_4 para a atmosfera através de hastes, evitando a oxidação de CH_4 no solo (BODELIER e STEENBERGH, (2014); ERISMAN et al., 2013).
 - Por outro lado, a medida que ocorrem mudanças climáticas, promove-se alteração direta dos níveis atmosféricos de CO_2 e servem como catalisadoras no sentido de acelerar o ciclo do nitrogênio, pois, interferem na temperatura, precipitação, *run-off*, no nível do mar, além disso, a química dos oceanos e do vento pode mudar, a exemplo das taxas de nitrificação no oceano que parecem ser reduzidas pela acidificação do oceano, resultante do aumento da dissolução de CO_2 . A consequência disto é a redução de nutriente disponível para os fitoplânctons e outros organismos, além da redução de emissões de N_2O (BEMAN, SACHDEVA e FUHRMAN, 2010).

- Impactos na saúde humana – Apesar da fixação industrial de N_2 ser considerada um importante avanço para humanidade, efeitos negativos também ocorrem para a saúde humana. De acordo com Erisman et al., (2013), a quantidade de N_r usado para produção de alimentos é cerca de 10 vezes maior do que o seu consumo, devido ineficiências da cadeia da produção de alimentos e de consumo, ou seja na aplicação dos fertilizantes e nos desperdícios em potencial (GALLOWAY et al., 2003; 2008). Por isso, uma parte significativa do N_r formado permanece reativo na atmosfera. A exemplo do NO_x que quando na troposfera promove a formação de *SMOG*, consequentemente de ozônio troposférico, material particulado (MP) e aerossóis. O O_3 troposférico é um poluente danoso, pois, afeta a saúde humana através da inalação. Diversos são os problemas de saúde que podem ser iniciados e agravados pela exposição do O_3 a exemplo da tosse e da asma, reduções de curto prazo na função pulmonar e doença respiratória crônica (WHO, 2006). Um panorama dos riscos do ozônio para a saúde, feito pela Organização Mundial da Saúde (OMS) indica um claro aumento na mortalidade e morbidade respiratória com o aumento dos níveis de ozônio no ambiente (WHO, 2008). Estima-se que ocorreram 21.000 mortes prematuras nos estados membros da União Europeia (UE) que estão associadas aos altos níveis de ozônio tendo em vista uma exposição a um máximo diário de 8h em média de 35 ppb. O ozônio também está associado a 14.000 internações respiratórias anualmente nos estados membros da UE (WHO, 2008). Já o MP é a contribuição mais significativa para efeitos adversos para a saúde provenientes da poluição atmosférica, uma vez que promove morte prematura de cardíacos e outros problemas a exemplo taquicardia e arritmia cardíaca e também existem associações com asma em crianças, irritação das vias aéreas, tosse e dificuldade de respiração (WHO, 2008). A dispersão e absorção da luz devido ao MP também afeta visibilidade em cidades e áreas cênicas.

- Deposição do nitrogênio e a vegetação – A elevada deposição de N_r pode aumentar a susceptibilidade ao estresse da vegetação (DISE et al., 2011). No caso do O_3 , o mesmo é absorvido pelas plantas através dos poros dos estômatos no momento que a folha os abre durante o dia para permitir a absorção de CO_2 e realizar fotossíntese. Ao entrar na planta, o O_3 provoca danos celulares a membranas que conduzem à morte das células e a redução das taxas de fotossíntese (ERISMAN et al., 2013; MILLS, 2011). Isso

afeta negativamente a colheita de plantas e a horticultura e sobretudo causando a redução da absorção de CO₂. Perdas de rendimento relativos globais devido à exposição ao ozônio são estimados entre 7 a 12% para o trigo, de 3 a 4% para o arroz, de 3 a 5% para o milho e 6 a 16% para a soja. Na Europa, as perdas de rendimento regional agregados para estas culturas são estimados em 5%, 4%, 5% e 27%, respectivamente (VAN DINGENEN et al., 2009).

- Outras interações do Ciclo do N – O N_r também promove outros impactos de origem antrópica tais como alteração no uso do solo, deposição de compostos sulfurados e invasão de espécies exóticas (PAYNE et al., 2011; 2013). O excesso e a longa deposição de N_r causando acumulação no solo e em corpos d'água também induz alterações à biodiversidade através da cadeia alimentar. Insetos, pássaros ou outros animais com dietas específicas podem sofrer quando a sua principal fonte de alimento é afetada pela N_r (ERISMAN et al., 2013). Como exemplo, uma pesquisa na Holanda demonstra a relação direta entre as mudanças nas comunidades de borboletas e excesso de nitrogênio que afetam as plantas que alimentam (WALLIS DE VRIES, 2014). A perda de biodiversidade pode reduzir a resiliência dos ecossistemas; a capacidade de um ecossistema para se recuperar de uma perturbação (WWF, 2015). Além disso, através dos efeitos prejudiciais sobre serviços prestados pelo solo, água e ar de qualidade e dos ecossistemas, a resiliência dos ecossistemas é ainda mais reduzida e com ela comprometem-se os serviços ecossistêmicos (ERISMAN et al., 2013).

Diante dos alertas apontados em diversas pesquisas (SMIL, 2001; ERISMAN et al., 2007; 2008; UNEP, 2014; FOWLER et al., 2013; 2015; ROCKSTROM et al., 2009; GALLOWAY, 1998; 2003; GALLOWAY et al., 2003; 2004; 2013; 2014; WWF, 2015; WALLIS DE VRIES et al., 2013; SUTTON et al., 2011; 2012; 2013; STEFFEN et al., 2015) considera-se a questão do nitrogênio reativo como um dos problemas ambientais mais prementes da atualidade. Apesar disso, esta é uma questão pouco tratada. Embora a perda de biodiversidade e as alterações climáticas tenham gerado mobilizações para criação de programas nacionais e multidisciplinares, organizações globais, atenção política e da mídia, o desafio do Ciclo do N permanece menos evidente diante de suas ações. Talvez devido à falta de conhecimento em comparação com as alterações climáticas ou a perda de biodiversidade, há pouca comunicação sobre o excesso N_r no ambiente. Além disso, a complexidade das interações e as ligações entre as fontes e

formas químicas de N, alterações humanas ao ciclo de N são difíceis de se traduzir em mensagens transmissíveis para um público mais amplo. Diante disso, um dos maiores desafios é a necessidade de conscientizar os usuários de fertilizantes para o uso mais eficiente de nutrientes, pois, os serviços de consultoria, educação e extensão muitas vezes se concentram em aumentar a produtividade através do uso de fertilizantes, em vez de aplicação de fertilizantes de forma mais eficiente, tendo em vista a redução dos impactos ambientais negativos dos insumos de nitrogênio em excesso (ERISMAN et al., 2008, GALLOWAY et al., 2003; 2004; 2013).

Segundo UNEP (2014), as boas práticas de gestão são essenciais para melhorar a eficiência no uso de nitrogênio. Esta é a opção mais econômica para reduzir as perdas de N para o ambiente a partir de fontes agrícolas. Há diversas variações em tipos de exploração e tamanhos, condições climáticas, solos e outros fatores. Orientações adequadas e apropriadas, programas educativos e serviços de extensão independentes são necessários em todas as partes do mundo (UNEP, 2014).

Na Conferência Rio+20 em 2012, os governos sinalizaram uma preocupação com a saúde da biodiversidade marinha que está sendo afetada por compostos de base nitrogenada. Com isso, os líderes mundiais se comprometeram a tomar medidas para reduzir os impactos desta contaminação nos ecossistemas marinhos. Este compromisso por parte da comunidade global precisa ser garantido por meio de programas de ações factíveis, com foco em uma melhor gestão de nutrientes e tratamento de resíduos. Diante disso, segundo a UNEP (2014), algumas ferramentas foram desenvolvidas nos últimos anos para aumentar a conscientização sobre a questão de nitrogênio pelos tomadores de decisão e o público em geral, bem como para educar os agricultores e outros no setor agrícola na melhor gestão dos nutrientes. Estes incluem o *N-calculator*, onde é calculada uma pegada do N; *N-Sink*, uma ferramenta geo-espacial simples, projetada para os gestores de bacias hidrográficas; *N-visualization*, uma ferramenta com animações que ajuda os usuários a compreender os efeitos das diferentes medidas sobre o ambiente, economias e uso da terra. Outra tecnologia que visa a redução significativa da quantidade de N_r liberada para o meio ambiente, são os adubos de liberação controlada e fertilizantes de aplicação profunda, pois, aumentam a produtividade das culturas e dos rendimentos dos agricultores e reduzem a quantidade utilizada de fertilizantes, diminuindo também os danos ambientais (UNEP, 2014).

Outras questões são efluentes e resíduos gerados por uma crescente população mundial que tem aumentado as descargas de N_r para o ambiente. Nos países em desenvolvimento, poucas são as cidades que de fato tratam seus efluentes e as que afirmam tratar, muitas vezes fornecem apenas um tratamento primário que não remove nutrientes a exemplo do N.

Uma alternativa preventiva já bastante discutida é a segregação da urina na fonte de geração. Esta tem sido proposta por diversos pesquisadores como uma opção promissora para a gestão das águas residuárias urbanas (LARSEN e GUJER, 1997; OTTERPOHL, ALBOLD e OLDENBURG, 1999; LARSEN et al., 2001), uma vez que as vantagens com a separação de urina são diversas (redução do consumo de água oriunda das descargas; tornar desnecessário o tratamento de esgoto a nível terciário uma vez que é custoso do ponto de vista energético e econômico (KIPERSTOK et al., 2010) e que às vezes o referido tratamento pode não ser eficiente na remoção de nutrientes; promover o uso racional dos recursos hídricos, redução da eutrofização de mananciais e a reciclagem de nutrientes para a agricultura (LIENERT e LARSEN, 2006)). Ainda de acordo com Larsen e Gujer (1997) a urina contém o maior percentual dos nutrientes excretados pelo homem: cerca de 85-90% de N, 50-80% de P e 80-90% de K. Portanto, o reuso dos nutrientes contidos na urina humana após tratamento, pode substituir parte dos fertilizantes sintéticos (LIENERT e LARSEN, 2006).

Algumas tentativas frustradas deve-se ao modo de como o assunto é tratado, onde muitas vezes tal tratamento ocorre de forma fragmentada, principalmente em relação as políticas que abordam aspectos do desafio de N. Tais políticas focam geralmente em compartimentos ambientais (a exemplo do ar, água, solo) ou em questões ambientais particulares (a exemplo da gestão de resíduos, perda de biodiversidade, alterações climáticas) ou uma única forma de nitrogênio (a exemplo dos nitratos, óxidos de nitrogênio etc).

Além disso, os esforços para reduzir o uso de N_r precisam ser integrados apresentando uma visão holística tendo em vista a redução do risco de optar por soluções conflitantes entre os diversos subsistemas do planeta: aquecimento global, alterações do uso do solo, perda de biodiversidade, a acidificação dos oceanos e outros. A exemplo da mudança de um combustível fóssil para uma opção de energia renovável, que por um lado

reduzirá a carga de N_r , na queima do combustível fóssil, por outro, pode gerar aumento da demanda de biomassa para produzir energia, o que também demandaria mais fertilizantes para aumentar a produção de biomassa (ERISMAN et al., 2008).

Para o WWF (2015), as opções mais eficazes de mitigação são aquelas que reduzem a demanda por N_r . Para isso, as abordagens gerais mais importantes são:

❖ Melhorar a eficiência do uso de nitrogênio na agricultura

a. Substituir o N-fertilizante por alternativas naturais, como fixação biológica (a exemplo do uso de leguminosas em rotação de culturas, fazer melhor uso do solo com a melhor reciclagem de N (fechando os ciclos de nutrientes em diferentes escalas);

b. Fechar o ciclo de nutrientes, prevenindo a perda de nutrientes no sistema de produção, por exemplo, balancear o uso de nutrientes por cultura, produzir alimentos para animais, promovendo a produção de esterco e/ou através da melhoria da qualidade do solo;

c. Adotar princípios da agroecologia, visando a redução dos custos, a otimização da produtividade e das práticas agrícolas, de acordo com as características do ecossistema, por exemplo, melhorando a capacidade de resiliência da fazenda, fazendo uso de processos naturais, fortalecendo a biodiversidade funcional (tais como a qualidade do solo) e protegendo os serviços ecossistêmicos dos quais a fazenda depende. A biodiversidade do solo pode contribuir para o aumento da resistência a secas e inundações e pode aumentar a eficiência de nutrientes.

❖ Melhorar a eficiência de uso de nitrogênio na cadeia alimentar

a. Reduzir o desperdício ao longo da cadeia alimentar pode também reduzir consideravelmente a demanda por bens agrícolas por pessoa e, portanto, reduzir a carga de N_r ;

b. Promover dietas saudáveis, pobres em proteína animal. Na maioria dos países desenvolvidos, a população se alimenta bastante de produtos de origem animal. Mesmo em alguns países em desenvolvimento o consumo *per capita* de produtos de origem animal está aumentando rapidamente para níveis menos

saudáveis e ambientalmente insustentáveis. A redução do consumo de carne *per capita* promove benefícios relevantes para a saúde, melhora a eficiência do uso de nutrientes, reduz os custos gerais de produção e ainda reduz a poluição ambiental.

❖ Reduzir a queima de combustíveis fósseis

a. Substituir o uso de combustíveis fósseis por alternativas renováveis e sustentáveis, como as tecnologias solar e eólica;

b. Assegurar que os substitutos dos combustíveis fósseis na forma de biomassa não induzam um aumento da demanda por N_r . A utilização da biomassa como fonte de energia alternativa não seria uma escolha adequada porque exigiria ainda mais fertilizantes.

❖ Estimular a remoção do N proveniente da cascata

N_r pode ser convertido novamente em sua forma inativa N_2 através da desnitrificação. A remoção pode ocorrer em zonas húmidas para desnitrificação ou em estações de tratamento de esgoto, através da oxidação biológica da NH_3 em NO_3^- (nitrificação), seguido de desnitrificação, a redução de NO_3^- para N_2 gasoso, onde o N_2 é liberado para a atmosfera e, assim, removida a partir da água.

Embora a maioria das questões destacadas sejam a nível global, elas impactam localidades diferente e de formas específicas. Por exemplo, o excesso de fertilização provoca problemas ambientais em algumas partes do mundo, contudo, em outras regiões as pessoas sofrem com a falta de fertilizante nitrogenado. Consequentemente, as perspectivas locais e regionais são de importância vital para compreender as diferenças de natureza e prioridade das questões. Um contexto regional também é importante para a concepção de soluções. Variados fatores culturais, sociais e econômicos devem ser considerados para assegurar a implementação de políticas sólidas e integradas.

2.4. Educação e Sustentabilidade

2.4.1. Histórico ambiental na educação e o papel das Instituições de Ensino Superior (IES) para com a sustentabilidade

A década de 70 contemplou importantes eventos ambientais. Uma das importantes questões apontadas nesta década foi o fato da temática ambiental ser vista como um assunto que deve ser tratado sobretudo nas instituições de ensino, devido ao seu papel e missão enquanto instituição formadora de cidadãos. A partir dessa década é notório o surgimento de diversas declarações relacionando as IES à causa ambiental (Quadro 1).

Quadro 1: Declarações ambientais e as IES

| DECLARAÇÃO - ANO | FATOS PRINCIPAIS |
|---------------------|--|
| Estocolmo - 1972 | Dentre os 26 princípios lançados, cabe destacar o princípio 19 por abordar a necessidade da educação ambiental, tendo em vista a ampliação das bases das futuras opiniões e condutas responsáveis frente aos problemas ambientais. |
| Tbilisi - 1977 | Destacou-se por chamar a atenção referente a importância da educação ambiental aplicada em todos os níveis acadêmicos. Além disso, declaração ressalta que o ensino superior tem o dever de considerar em todas as suas atividades a preocupação ambiental bem como a sustentabilidade, reconhecendo isso como parâmetros indispensáveis ao desenvolvimento sustentável. |
| Talloires - 1990 | Essa declaração afirmava que IES deveriam não só liderar a causa ambiental, mas também dar suporte para mobilizar a superação desse enorme desafio. A declaração também contempla um plano com práticas de atividades ambientalmente recomendadas. Cerca de 30 universidades assinaram a declaração se comprometendo publicamente com sua relação perante o meio ambiente |
| Halifax - 1991 | Nesta declaração o principal objetivo foi refletir no tocante ao fato de como as IES poderiam contribuir para o melhor desempenho dos governos no que se refere ao meio ambiente e desenvolvimento. E ainda destacou a responsabilidade das IES em contribuir com as sociedades do presente bem como as futuras gerações, no que refere a incluir nas suas políticas, ações que visem o desenvolvimento sustentável. |
| Agenda 21 – Rio 92 | No capítulo 36, a Agenda 21, aborda: “Ensino, Conscientização e Capacitação”, que trata do reconhecimento de esforços realizados até o momento pelas IES no sentido de elaborarem diretrizes de ação para a sustentabilidade. |

| DECLARAÇÃO - ANO | FATOS PRINCIPAIS |
|-----------------------------|---|
| | Continuação do Quadro 1 |
| Swansea - 1993 | Evento que contemplou participação de universidades de 47 países e que se reuniram para discutir a relação do desenvolvimento sócio ambiental, pensando em maneiras de como as universidades comunitárias, juntamente com seus líderes e estudantes, poderiam criar formas para responder adequadamente aos desafios ambientais |
| Kyoto - 1993 | Ficou clara a obrigação ética das universidades para com o meio ambiente, tanto em suas atividades operacionais e administrativas, quanto no ensino. |
| Carta Copernicus - 1994 | O documento destaca a educação como sendo um fator indispensável para construção de valores e capacidades que abordem as questões ambientais |
| São José - 1995 | O documento faz apelo às IES na tentativa de aplicar práticas sustentáveis em suas atividades cotidianas, bem como inserir a questão ambiental nas grades curriculares, como forma de incentivo a novas pesquisas e programas de gestão ambiental |

Fontes: adaptado de The Talloires Declaration, 1990; Lozano et al., 2013; Silva e Gonzaga, 2017.

Diante disso, observa-se que desde a década de 70, as IES têm ganhado notoriedade no tocante às discussões em eventos ambientais, uma vez que sua responsabilidade socioambiental no cumprimento de seus deveres é evidente. Em todas essas declarações/eventos ocorridos existem apelos para que as IES proporcionem uma atuação mais efetiva voltada para o desenvolvimento sustentável.

Do mesmo modo, conforme cita Tilbury (presidente do grupo de especialistas em avaliação de educação para o desenvolvimento sustentável da Unesco), só nos anos de 2007 a 2010, percebeu-se um aumento de 15% das IES que firmaram cartas e declarações nesta finalidade, além de um incremento de 6% na criação de cursos voltados para área ambiental. Na Inglaterra, houve um aumento de 82% das Universidades que desenvolveram estratégias para a redução da emissão de carbono e 53% que adotaram critérios verdes nas suas compras (TILBURY, et al., 2017).

Fato que também é percebido por Jorge et al., (2015) ao relatar que nas duas últimas décadas, um número crescente de instituições de ensino superior tem se empenhado em incorporar e institucionalizar parâmetros ambientais em suas vertentes. Isto é devido ao fato do aumento do nível de consciência na sociedade referente às

questões de sustentabilidade e os impactos significativos das atividades do campus tanto no ambiente como nas comunidades (ALSHUWAIKHAT e ABUBAKAR, 2008).

Além disso, a crescente importância de declarações, cartas e parcerias para promover o desenvolvimento sustentável transformador é demonstrada pelos mais de 1000 líderes universitários que ratificaram seu compromisso com a sustentabilidade assinando a Declaração de Talloires, a Declaração de Quioto e a Carta Universitária Copernicus (CALDER E CLUGSTON, 2003).

Marinho (2014) em sua pesquisa, afirma que no Brasil 52 IES são signatárias da Declaração de Talloires e 39 integram o Fórum virtual de discussão sobre Gestão Ambiental em IES, que foi criado pela Coordenação de Gestão Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 2012, com o objetivo exclusivo de registrar o que estava sendo feito nas IES quanto ao desenvolvimento sustentável e de participar da discussão sobre universidades sustentáveis na conferência Rio+20. Como 18 IES participam dos mesmos grupos, pode-se concluir que se totaliza 73 instituições envolvidas. Não obstante essas IES firmarem compromisso com a sustentabilidade, o que de fato praticam na maior parte das vezes são ações de gestão ambiental nos *campi*; mesmo assim, podendo ser restritas a intervenções específicas em algum fluxo de material ou energia, nem sempre incorporadas pela estrutura institucional (MARINHO, 2014).

O desafio do desenvolvimento sustentável faz das IES o local ideal para comandar a causa ambiental, pois, elas têm a nobre missão de promover ensino, pesquisa e extensão voltados para formação de futuros líderes/cidadãos mais preparados para tomadas de decisão, até mesmo por ser ampla e diversa a sua experiência em investigação interdisciplinar. Já é sabido que a questão ambiental bem como o processo de sensibilização e conscientização no tocante a temática sustentabilidade ambiental, permeia em uma diversidade de disciplinas, cursos e práticas acadêmicas de IES (MARCOMIN e SILVA, 2009).

Segundo Amaral, Martins e Gouveia (2015), as universidades têm papel primordial para com o desenvolvimento sustentável, recaindo sobre elas a responsabilidade social para o desenvolvimento da sociedade, na educação do cidadão/futuros líderes e na conscientização pública sobre a sustentabilidade. Logo, as

IES devem estar à frente e ser o principal centro de promoção voltado para o desenvolvimento sustentável.

Jacobi (2003), afirma que a reflexão sobre práticas sociais tendo em vista um contexto marcado pela contínua degradação ambiental, incide inexoravelmente em alternativas pautadas na educação ambiental. Isso é endossado por Guimarães e Tomazello (2003) ao afirmarem que a formação de profissionais ambientalmente educados para sustentabilidade, repercute significativamente na qualidade ambiental e de vida de uma sociedade mais equilibrada.

Além disso, Barth (2013) e Lozano et al., (2015) afirmam que as IES são reconhecidas por ter responsabilidade moral para se tornar modelos físicos de sustentabilidade e de centros de pesquisa ambiental, portanto, cada vez mais, essas instituições são desafiadas a assumir mais responsabilidade pela preparação de cidadãos para lidar com questões de sustentabilidade.

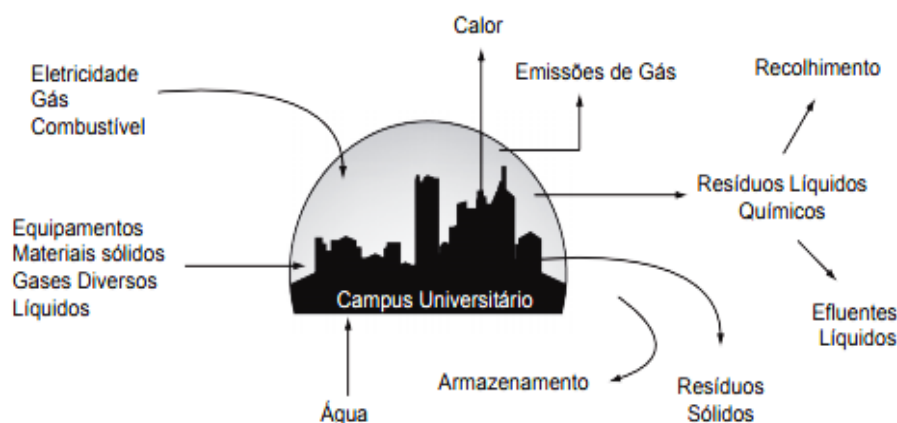
2.4.2. Consumo de recursos e o significativo potencial poluidor das IES

Por um lado, o fato das IES terem o papel social de promoção da sustentabilidade, por outro, elas apresentam um expressivo potencial poluidor diante das mais diversas formas de resíduos que são produzidos nos diversos setores de uma IES. Logo, as IES devem não somente promover sustentabilidade nas práticas de sala de aula (graduação/pós-graduação), mas também demonstrar essas práticas no cotidiano durante suas atividades operacionais e administrativas, bem como em seu entorno. De acordo com Machado et al., (2013), IES são instituições que possuem complexidade à parte no que se refere a sua gestão e atuação social, uma vez que tem obrigação de contribuir com a conscientização da sociedade, através de boas práticas de gestão ambiental, minimizando impactos ambientais decorrentes de suas atividades.

De acordo com Lukman e Glavic (2007) e Geng et al., (2013), as práticas operacionais de um campus universitário envolvem diversas atividades a exemplo dos serviços dos restaurantes, alojamentos, centros de conveniência, laboratórios, manutenção predial, etc. Decorrente dessas atividades operacionais, ocorrem geração de resíduos (de alimentos, eletrônicos, químicos, resíduos de serviços de saúde, resíduos

sólidos urbanos, resíduos de construção civil etc), de efluentes (domésticos e outros com alto potencial poluidor) e de emissões (diversas), além do alto consumo de recursos naturais e energia para seu funcionamento. De modo análogo, a Figura 07 ilustra uma visão industrial de *inputs* e *outputs*, onde se justifica um uso mais racional de recursos naturais, bem como a preocupação com a redução da geração dos resíduos, efluentes e emissões e até mesmo o tratamento e destinação adequada de cada um destes (TAUCHEN e BRANDLI, 2006; GENG et al., 2013).

Figura 7: Entradas e Saídas de insumos e subprodutos uma IES.



Fonte: Tauchen e Bradli, 2006.

Segundo Marinho, Gonçalves e Kiperstok (2014) verificou-se que o consumo *per capita* de água em IES é mais elevado do que o consumo médio das grandes cidades. Já Lukman, Tiwary e Azapagic (2009) publicaram um trabalho relativo a avaliação ambiental das práticas operacionais da Universidade de Maribor (Eslovênia), onde são apontados impactos ambientais em potencial, sendo os mais relevantes: acidificação oceânica, aquecimento global, potencial de toxicidade humana e eco toxicidade, corroborando com os problemas ambientais alertados por Rockstrom et al., (2009).

Tais aspectos e impactos ressaltam a importância das IES na mitigação de impactos ambientais gerados, de modo que sirva de exemplo à comunidade acadêmica e externa, bem como no cumprimento da legislação, saindo do campo teórico para a prática operacional, conforme corroboram Velazquez et al., (2006) e que ainda ressaltam que uma IES comprometida com a sustentabilidade deve abordar, envolver e promover, no âmbito regional e global, a minimização dos efeitos negativos ambientais, econômicos, sociais e de saúde gerados no uso de seus recursos, a fim de cumprir as suas funções de

ensino, pesquisa, extensão e gestão, ao passo que fomenta a sociedade a transição para estilos de vida mais sustentáveis.

No tocante ao Ciclo do N, Savanick, Baker e Perry (2007), realizou um balanço de nitrogênio na Universidade de Minnesota, onde chegou à conclusão de que as maiores fontes de entrada para o cômputo de N foram fixação abiótica e alimentação para humanos e animais. As maiores fontes de produção foram de calor e eletricidade para os edifícios do campus, seguido de transporte suburbano do campus. O modelo de balanço N foi útil na avaliação do impacto das medidas individuais em saídas N comparando medidas potenciais alternativas e avaliar o impacto dos programas de sustentabilidade já implementadas.

Outro estudo de caso foi na Universidade de Virginia (UVA), contemplada pela pesquisa de Leach, et al., (2013). A UVA foi considerada o primeiro modelo a nível de IES a estimar a pegada de nitrogênio, tanto a pegada referente ao ano de 2010 como a projetada para 2025. Tal modelo também é usado para testar cenários sobre as formas mais eficazes para diminuir a pegada de nitrogênio reativo da universidade.

2.4.3. Ferramentas, instrumentos, programas e ações de sustentabilidade nas IES

Desde algum tempo, as IES têm se preocupado com suas práticas operacionais. Fato observado nas mais diversas publicações de artigos, livros, pesquisas, relatórios, eventos e até revistas que tratam da sustentabilidade em IES, a exemplo de Clugston e Calder (1999); Weenen (2000); Sharp (2002); Cole (2003); Velazquez et al., (2006); Leal Filho (2009); Disterheft (2011), Nejati (2013), Popescu e Bebeau (2014), Sammalisto, Sundstrom e Holm (2015), Leal filho, Shiel e Paço (2015) etc. Há artigos específicos que tratam de sistemas de gestão em universidades e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável (DS) a exemplo de Sharp (2002); Simkins et al., (2004); Nicolaidis (2006); Tauchen e Brandli (2006); Alshuwaikhat e Abubakar (2008); Clarke et al., (2009). No tocante aos livros publicados nessa temática existem alguns, a exemplo de Barlet e Chase (2004); Martin e Samuels (2012); Leal Filho (2015); Leal Filho (2017); Leal Filho, Castro e Newman (2017) etc.

Segundo Delgado e Velez (2005) foi na década de 60 que as IES começaram a introduzir a temática ambiental em seus processos. As primeiras iniciativas surgiram nos Estados Unidos. Já nos anos 80, o destaque foi para políticas mais específicas à gestão de resíduos e eficiência energética. Durante a década de 90 se desenvolveram políticas ambientais de âmbito geral, a exemplo do *Campus Ecology of University of Wisconsin at Madison* bem como o *Brown is Green, University of Brown* nos EUA.

A adesão de IES à causa ambiental fomentou a criação da Organização Internacional de Universidades pelo Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (OIUDSMA), que foi constituída em São José (Costa Rica) em 1995. Essa organização atua como uma rede de IES e tem o objetivo de desenvolver programas e pesquisas tendo como foco a sustentabilidade nos *campi* (OIUDSMA, 2017).

Atualmente, diversos grupos estão dedicados a mitigar ou prevenir impactos ambientais das universidades, a exemplo, da Associação para a Promoção da Sustentabilidade no Ensino Superior (AASHE) e o Grupo de Desenvolvimento Sustentável no Campus do Instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável. Ambos administram bancos de dados relativos às ações de sustentabilidade em IES.

Para Leal filho, Shiel e Paço (2015), um campus sustentável deve agir sobre as suas responsabilidades locais e globais para proteger e melhorar a saúde e o bem-estar dos seres humanos e dos ecossistemas. Os autores afirmam que é fundamental o envolvimento da comunidade universitária para enfrentar os desafios ecológicos e sociais enfrentados atualmente e no futuro.

De acordo com Barbieri (2011), instituições podem criar seus próprios modelos, combinando ferramentas/instrumentos de controle e prevenção da poluição, para fornecer subsídios de implantação das boas práticas de gestão ambiental. O autor ainda apresenta quatro modelos para gestão ambiental:

- administração da qualidade ambiental total: envolve todos os integrantes da instituição, juntamente com seus fornecedores a fim de comercializarem bens e serviços que atendam as expectativas dos *stakeholders*, proporcionando qualidade ambiental através da redução da geração de poluentes;
- produção mais limpa: modelo de gestão preventiva, aplicado a produtos e serviços objetivando a minimização dos impactos ambientais, devendo alcançar três

propósitos: lançar menos poluição, gerar menos resíduos e consumir menos recursos naturais;

- ecoeficiência: é um modelo que busca o aumento da competitividade empresarial, através da redução dos impactos ambientais, ao oferecer produtos e serviços que promovam a qualidade de vida dos seus usuários;
- projeto para o meio ambiente (*ecodesign*): é um modelo centrado na concepção dos produtos, buscando integrar os processos de produção, distribuição e utilização, visando desenvolver produtos melhores ambientalmente.

Nos dias atuais, diversas universidades praticam alguma ação ou adotam programas voltados a questão ambiental em seus campus, a exemplo da implementação de um SGA, por vezes fazendo opção de uso da norma ISO14.000 ou de outras metodologias mais específicos para IES a exemplo do *Greening campus*, *STARS* e *EcoCampus* (SAYED, KAMAL e ASMUSS, 2013; UMACS, 2013).

A fim de assegurar o bom funcionamento, bem como avaliar um sistema de gestão ambiental (SGA), foram criadas normas internacionais, sendo a mais conhecida a norma da série ISO 14000, que define SGA como parte de um sistema organizacional capaz de expandir e implementar uma política ambiental, além de gerenciar os aspectos ambientais da instituição. No caso das universidades, para garantir uma boa gestão ambiental universitária, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas voltadas a minimização de impactos ambientais, bem como o gerenciamento e monitoramento de recursos naturais, por meio de parâmetros de avaliação de sustentabilidade ambiental (SOUSA, SOUSA e CARVALHO, 2014; ALVES, 2017).

Segundo Disterheft (2011), os SGA's são ferramentas que visam redução do impacto ambiental ao passo que ofertam múltiplas possibilidades de envolver a comunidade para iniciar um novo diálogo transversal sobre as operações e atividades do campus. Em geral, SGA pode ser definido como uma metodologia para avaliação e gestão dos impactos ambientais de uma organização e para a melhoria incremental de desempenho ambiental (ALVES, 2017). Eles são delineados como processos transparentes e sistêmicos e tem objetivo de prescrever e implementar as metas ambientais, políticas e responsabilidades, bem como de auditar regularmente seus elementos (SOUSA, SOUSA e CARVALHO, 2014).

Para Feres e Antunes (2007) e Alshuwaikhat e Abubakar (2008) os SGA têm obtido maior posição de destaque na tomada de decisão das organizações. Porém, a adoção de sistemas de gestão ambiental, em IES, não tem acompanhado o setor industrial com a mesma velocidade. Por outro lado, o consumo e o custo crescente com energia, água, materiais e com a gestão adequada de resíduos, tornam a implementação de tais ferramentas uma demonstração clara da responsabilidade das IES na formação ética de profissionais e cidadãos e na construção de um futuro ambientalmente mais sustentável.

De acordo com Bellou, Petreniti e Skanavis (2016), o *Greening Campus* tem como principal objetivo ser uma fonte importante de informação e estratégias destinadas para instituições que vislumbram qualidade ambiental. *Greening Campus* é um manual prático, criado através de uma parceria entre a *United Nations Environment Programme* (UNEP), representada pela Associação de Faculdades Comunitárias do Canadá e do Instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável. Cada aspecto é abordado na seguinte ordem: o problema e suas possíveis soluções; dificuldades comuns e como evitá-las; custos, benefícios e oportunidades; prioridades de ação e melhores práticas. Desse modo, a referida metodologia atua criando uma estrutura sistemática, sugerindo ações comprometidas com a sustentabilidade do campus, que inclui recomendações específicas com graus de prioridade. São iniciativas pontuais de sustentabilidade de IES com os recursos por elas utilizados (água, energia, materiais, construções verdes, redução da pegada de carbono, preservação da biodiversidade, redução da geração de resíduos etc) que se aumentam e se espalham cada vez mais em faculdades e universidades nos Estados Unidos e Canadá tendo em vista a ação de práticas mais sustentáveis.

O *Sustainability Tracking, Assessment & Rating System*TM (STARS®), é uma estrutura de autorrelato transparente para IES avaliarem seu desempenho em sustentabilidade. O STARS pretende engajar e reconhecer todo o espectro de faculdades e universidades - de faculdades comunitárias a universidades de pesquisa - e abrange metas de sustentabilidade de longo prazo para instituições de alto desempenho, bem como pontos de entrada de reconhecimento para instituições que estão dando os primeiros passos na direção sustentabilidade.

O STARS é projetado para: Fornecer uma estrutura para entender a sustentabilidade em todos os setores do ensino superior; Permitir comparações

significativas ao longo do tempo e entre instituições usando um conjunto comum de medidas desenvolvidas com ampla participação da comunidade internacional de sustentabilidade do campus; Criar incentivos para melhoria contínua em direção à sustentabilidade; Facilitar o compartilhamento de informações sobre práticas e desempenho de sustentabilidade da educação superior e construir uma comunidade de sustentabilidade mais forte e diversificada no campus. As instituições participantes são elegíveis para receber uma classificação *STARS* Bronze, Prata, Ouro ou Platina. As instituições classificadas também são destaque no altamente conceituado *Sustainable Campus Index*, uma publicação anual que destaca os melhores desempenhos e as melhores práticas em 17 áreas de impacto abrangendo acadêmicos, envolvimento da comunidade, operações no campus e liderança (STARS, 2018).

Já o *EcoCampus* trata-se de um método baseado em um SGA atrelado a um sistema de premiação, criado especialmente para IES. O método permite que as universidades sejam reconhecidas por abordarem questões fundamentais de sustentabilidade ambiental, incluindo redução de carbono. O projeto *EcoCampus* foi inicialmente criado e financiado pelo *Higher Education Funding Council for England* em 2005 (HEFCE) e é agora um projeto colaborativo entre a *Nottingham Trent University* (NTU) e a *Loreus Ltd* (SGA, consultoria de desenvolvimento e treinamento de software). O esquema oferece o pacote completo para suporte de carbono e SGA no setor de ensino superior, onde os participantes são abordados no processo de concepção, implementação e auditoria de um SGA totalmente operacional. Atualmente, aproximadamente 30% do setor de ensino superior do Reino Unido está inscrito no programa. A abordagem em fases significa que as universidades obtêm reconhecimento pelo melhor desempenho ambiental através de uma série de prêmios; Bronze, Prata, Ouro e Platina. O prêmio Platinum é equivalente ao padrão internacional ISO14.001 (EAUC, 2018).

Segundo Oelreich (2004), a IES europeia considerada pioneira na implantação de um SGA é a Universidade *Malardalen*, Suécia. Para alcançar esta certificação a instituição estabeleceu uma política ambiental estruturando programas que geraram resultados positivos e que se consolidam em constante melhoria. Pode-se destacar como resultados do programa: o controle do consumo de energia; o transporte coletivo eficiente para usuários; e ainda um programa de reutilização e destinação final adequada de resíduos.

No tocante às ações de identificação e/ou estimativa de emissões de poluentes (a exemplo de emissões de N_f ou de gases estufa dentre outros), um SGA se for bem gerido é capaz de dar suporte ao controle dessas emissões bem como de propor ações de minimização da geração ou ações corretivas em relação a tais emissões. Para tal, é essencial que sejam identificadas as entradas e saídas desses poluentes na IES em estudo e com base nesses dados, propor as ações adequadas e sobretudo, realizar monitoramento contínuo para fins de controle.

No Brasil, diversas são as IES que adotaram programas de sustentabilidade ou se propuseram a realização de ações ambientais. Como exemplo:

- Em 2004, a UNISINOS foi a primeira universidade da América Latina a receber a certificação internacional ISO 14.001. O certificado atesta o comprometimento da universidade com o controle dos impactos ambientais de suas atividades, produtos e serviços. Para a manutenção da certificação ISO 14.001, a universidade trabalha em um processo de melhoria contínua, sempre atenta a novos meios e oportunidades (UNISINOS, 2018).
- A Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/RIO) implementou programas socioambientais e criou o Núcleo Interdisciplinar em Meio Ambiente – NIMA. O Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente – NIMA, teve a sua fundação no ano de 1999, com o objetivo de ser o local de discussões interdisciplinares sobre as questões socioambientais. Além de aglutinar competências internas, o NIMA também se propõe a estabelecer interação entre a Pontifícia Universidade Católica e o meio, como cabe às Unidades Complementares de acordo com o Estatuto da Universidade. Há doze anos, o NIMA vem realizando projetos em parceria com escolas, empresas, municípios e instituições nacionais e internacionais. O compromisso assumido desde a sua fundação é com a ética ambiental, e assim atua para a transformação da cultura antropocêntrica, acreditando na possibilidade de criar novos cenários a partir da comunhão do ser humano com o ambiente. A PUC-Rio criou em 2009 a Agenda Ambiental, documento inédito em uma universidade brasileira que reúne a visão de sustentabilidade de um grupo multidisciplinar de professores e alunos. Neste documento estão as diretrizes e metas, a curto, médio e longo prazo, para a sustentabilidade na Universidade, tanto a nível de gestão quanto de ensino e

pesquisa. A iniciativa pioneira surgiu com a “Comissão de Sustentabilidade” criada depois da participação da PUC-Rio no Colóquio Global de Reitores que aconteceu em Nova York, por iniciativa do Secretário Geral das Nações Unidas Ban Ki-Moon. A coordenação do projeto é feita pelo NIMA, e entre as propostas estão a troca de asfalto das ruas do estacionamento para facilitar a drenagem natural de água; uma tecnologia de filtragem que permite a reutilização dos recursos hídricos; a implantação de programas que integrem as fontes naturais de energia às alternativas como eólica e solar; o monitoramento detalhado dos gases produzidos nos laboratórios da Universidade; e a criação de um centro de reciclagem (NIMA, 2018).

- De acordo com Ribeiro et al., (2005), as Universidades Federais de Santa Catarina (UFSC) e a do Rio Grande do Sul implementaram um SGA. Para isso, foram criadas coordenadorias de Gestão Ambiental, ligada diretamente ao gabinete da reitoria e ainda foram estabelecidas suas respectivas políticas ambientais. Na prática, alguns programas e projetos propostos estão em funcionamento tais como: gestão de resíduos químicos, segurança e proteção radiológicas, gestão de resíduos biológicos, coleta seletiva, gestão de resíduos orgânicos, licenças especiais e laudos ambientais, compras eco eficientes, gestão de recursos hídricos, uso racional de energia, uso racional de água, edificações sustentáveis, biossegurança, qualidade do ar, gestão ambiental de restaurante universitário, unidades de conservação, etc.
- Universidade Regional de Blumenau (FURB) que criou um Comitê de Implantação de seu SGA, constituído por representantes de toda a comunidade universitária, objetivando identificar com clareza os seus problemas ambientais, a fim de estabelecer um plano de melhoria contínua na atenuação ou eliminação desses problemas. O comitê seguiu a norma ISO 14.001. Com isso, elaborou-se a política ambiental da FURB e deu início ao planejamento ambiental, culminando com a criação do Sistema de Gestão Ambiental da Universidade em 1999. O SGA da FURB é uma estrutura organizacional e de responsabilidades destinada a implementar a política ambiental e seus objetivos de gestão ambiental. Ele é composto pela Coordenadoria do Meio Ambiente, responsáveis e agentes ambientais (ALVES, 2017).

- Faculdade de Horizontina encontra-se em processo de implantação da ISO 14.001, além desta já possuir o título de instituição socialmente responsável e promover o programa água limpa. Este contempla ações de gestão ambiental para uso mais racional da água, recomposição da mata ciliar, preservação das nascentes, controle sobre o assoreamento e combate à poluição, além de fomentar a educação ambiental às comunidades ribeirinhas, promovendo, assim, a inclusão social e a sustentabilidade ambiental para preservação e recuperação da biodiversidade local e regional (FAHOR, 2017).
- No Paraná, o Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná, obteve a busca por melhores condições, em todas as suas atividades laboratoriais de pesquisa e desenvolvimento, nos aspectos e impactos ambientais, desenvolvendo novos métodos de gestão ambiental, baseados no conceito de desenvolvimento sustentável, no desenvolvimento de novas tecnologias e no melhoramento das existentes (BORGES et al., 2005).
- Vaz et al., (2010), em sua pesquisa, discutiram sobre o desenvolvimento de uma metodologia ambiental baseada na ISO 14.001 e na Produção mais limpa (P+L) para o gerenciamento de resíduos em Instituições de Ensino, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

Outrossim, Machado et al., (2013), em seu estudo identificou práticas de gestão ambiental executadas em universidades brasileiras, tendo como base um *survey* com 75 instituições. Esta pesquisa evidenciou que:

- 22 práticas são realizadas por muitas universidades do país;
- Instituições que priorizam a gestão ambiental, implantando SGA e departamento específico para sua gestão, apresentam nível mais elevado de adoção de práticas.

Machado et al., (2013) afirmam que as principais motivações estão relacionadas com a preocupação em relação ao meio ambiente e em conscientizar a sociedade por meio de projetos de educação para servir como exemplo.

Apesar de haverem no Brasil e no mundo muitas IES que tem intenção promover mais sustentabilidade em suas vertentes de funcionamento, o desenvolvimento sustentável no ensino superior ainda está longe de ser integrado de forma holística e

orgânica pelos líderes das universidades (LEE, BARKER e MOUASHER, 2013; MILUTINOVIC e NIKOLI, 2014). Pois, como já sabido, diversos autores já comentaram da necessidade de uma integração mais abrangente do desenvolvimento sustentável em seus sistemas, em vez de apenas como “complementos” às práticas ambientais existentes, envolvendo-se em mudanças fundamentais e radicais (FADEEVA e MOCHIZUKI, 2010). A lenta taxa de mudança nas universidades representa um desafio para as instituições de ensino superior e a sociedade se tornarem mais sustentáveis.

Por outro lado, no Brasil, algumas instituições públicas ligadas ao Ministério de Educação (MEC) têm exigido de IES públicas e privadas determinadas demandas ambientais educacionais, a exemplo do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) que em seu Instrumento de Avaliação Institucional Externa, ao subsidiar os atos de credenciamento, credenciamento e transformação da organização acadêmica (presencial), contempla tais demandas em seus itens 16 e 17 dos requisitos legais e normativos, de acordo com a figura 8.

Figura 8: Exigências no credenciamento das IES – INEP

| | | |
|-----------|---|---|
| 16 | Políticas de educação ambiental, conforme disposto na Lei Nº 9.795/1999, no Decreto Nº 4.281/2002 e na Resolução CNE/CP Nº 2/2012. | A IES cumpriu este Requisito Legal e Normativo ? |
| 17 | Desenvolvimento Nacional Sustentável, conforme disposto no Decreto Nº 7.746 de 05/06/2012 e na Instrução Normativa Nº 10, de 12/11/2012. | A IES cumpriu este Requisito Legal e Normativo ? |

Fonte: INEP, 2018.

Além disso, o Eixo 4 do mesmo documento trata das Políticas de Gestão da IES que contempla diversos aspectos, dentre outros: “os elementos do planejamento e da sustentabilidade financeira da IES para garantir o seu pleno desenvolvimento de forma sustentável”. Por fim, o item 33 de seu glossário define sustentabilidade socioambiental (figura 9), de modo que neste conceito o parâmetro socioambiental esteja contemplado nas IES no seu respectivo Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI).

Figura 9: Dimensão socioambiental das IES – INEP

| | | |
|------------|--|--|
| 33. | Sustentabilidade socioambiental | A dimensão socioambiental, nas atividades de ensino, pesquisa, extensão e gestão, destina-se à conservação, recuperação e melhoria das condições ambientais, sociais e existenciais, promovendo a participação de toda a comunidade da IES, no delineamento, planejamento, implantação e avaliação das atividades e dos seus indicadores, que devem constar no seu PDI. |
|------------|--|--|

Fonte: INEP, 2018.

Este documento é de fundamental importância por ser um instrumento governamental de credenciamento e credenciamento de uma IES, e que através dele e por meio da instituição oficial (INEP), exige que as IES insiram em suas atividades cotidianas parâmetros ambientais mesmo ainda que de modo geral. Por um lado, através deste instrumento aquelas IES que não estão dispostas a se enquadrar, são forçadas a pelo menos refletir sobre a questão ambiental. Já por outro lado, para as IES que estão mais abertas à mudanças, isso pode ser o início de muitas outras ações positivas no que tange a questão ambiental nas IES.

2.4.4. Barreiras na implantação das metodologias de sustentabilidade nas IES

As tentativas das IES de se tornarem mais sustentáveis nem sempre são exitosas, uma vez que existem diversas barreiras que podem dificultar a implementação/adoção de programas/certificações como a *ISO*, *EcoCampus*, *STARS* etc.

A pesquisa de Ghizzi (2015) por exemplo, avaliou a implementação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), baseado na ISO 14.001:2004, na Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Chapecó. De acordo com os dados abordados, as principais falhas na implementação estão atreladas à falta de uma Política Ambiental que integre os setores que estão desfragmentados; além de falta de treinamento, capacitação e conscientização dos técnicos e funcionários. A autora concluiu que se faz necessário que haja um comprometimento da alta direção para que o objetivo seja alcançado, e que os setores trabalhem em conjunto, melhorando a comunicação interna e procurando sempre uma melhoria contínua.

Segundo Jorge Hernandez e Peña (2013), existem muitas barreiras que podem frustrar a implementação de programas/metodologias de promoção de sustentabilidade nas IES, a exemplo: a falta de interesse e compromisso com iniciativas ecológicas entre os administradores, funcionários e estudantes, restrições orçamentárias ou falta de recursos financeiros, longos períodos de retorno financeiro etc. Para Ávila et al., (2017), os equívocos relacionados com a sustentabilidade às vezes são usados como desculpa por IES à não execução de medidas sustentáveis em seus campus. E ainda assegura que tais equívocos refletem numa visão negativa, retratando a má vontade da IES de implementar

ações sustentáveis. Os autores apontam uma série barreiras que são responsáveis por dificultar a implementação de um “campus sustentável”. São elas:

- Falta de sensibilidade, interesse e envolvimento – desconhecimento ou falta de interesse na sustentabilidade;
- Falta de estrutura organizacional – descentralização, burocracia e o fato de vários processos não serem padronizados. Tais fatores promovem atrasos ou desistência do processo;
- Falta de recursos financeiros – contenção de custos, logo, a sustentabilidade sempre fica em segundo plano;
- Falta de acesso a dados do campus – suspensão de projetos sustentáveis por falta de dados do próprio campus;
- Falta de treinamento – Iniciativas são limitadas devido à falta treinamento dos participantes envolvidos;
- Falta de comunicação e informação – devido a descentralização nas universidades, as informações principais são muitas vezes indisponíveis em nos departamentos ou fluem de modo lento;
- Resistência a mudança – ainda existem muitas IES que apresentam comportamentos conservadores e que são difíceis de serem mudados. Pois, quando há tentativas de avanço, reúnem-se um grupo de pessoas que sempre fazem oposição às ideias;
- Falta de legislação rigorosa – ausência de instrumentos legais e regulatórios dificultam a implementação de ações sustentáveis;
- Falta de pesquisa interdisciplinar – ausência de uma equipe interdisciplinar dificulta a implementação de ações sustentáveis nos campus;
- Falta de indicadores de performance – Com esta barreira não se pode obter um nível de eficácia nas ações sustentáveis, pois, sem indicadores não há como nortear as ações/projetos);
- Falta de definição de padrões e de conceitos sustentáveis – A falta de padrões de qualidade ambiental e conceitos importantes que promovem a sustentabilidade tais como prevenção da poluição, produção limpa, eco eficiência, ecologia industrial etc.;
- Problemas técnicos – Alguns destes podem oferecer resistência nas ações sustentáveis, tais como: Falta de saneamento, Iluminação precária, maus odores, etc.;

De acordo com Bellou, Petreniti, Skanavis (2017), inúmeros obstáculos impedem a execução de ações sustentáveis em um campus. Por exemplo: a falta de recursos financeiros, falta de interesse dos *stakeholders* e o fato das IES serem tradicionalmente lentas na adoção de mudanças. Por outro lado, diversos são os fatores que motivam uma IES a ser sustentável, dentre eles: membros participantes de ações de sustentabilidade em IES geralmente são peritos na área, existência de pesquisas em sustentabilidade dentro do campus, estudantes que exigem responsabilidades socioambientais, relações públicas positivas, redução de custos com energia, água e diversos insumos, melhor rendimento dos estudantes devido a uma melhor estrutura do campus, maior segurança e integração social no campus e popularidade devido à sustentabilidade da instituição, etc.

Já para Machado et al., (2013), eles afirmam que apesar das dificuldades/barreiras, muitas instituições brasileiras estão voltadas a cumprir com sua responsabilidade ambiental e social. Em relação às principais barreiras de sua pesquisa feita com IES brasileiras, foram apontadas a falta de recursos, principalmente humanos e financeiros, dificuldade de conscientização dos envolvidos e falta de interesse das próprias IES's. Os autores ainda afirmam que é fundamental que IES contem com apoio governamental adequado às suas características, que organizem programas internos de conscientização de servidores, que políticas ambientais sejam prioridade para a gestão das instituições, fazendo parte de seu planejamento estratégico e de sua previsão orçamentária.

No tocante às metodologias abordadas (SGA's, *ISO 14.001*, *EcoCampus/STARS* e *Greening campus*) vale destacar que nenhuma delas ainda não obteve ampla aceitação para aplicação em IES. Além disso, deixam a desejar, uma vez que às questões ambientais são tratadas em foco local e não global, bem como, os problemas ambientais da instituição não devem ser restringidos ao limite de sua extensão territorial, pois, as IES promovem impactos que extrapolam estes limites. Neste sentido, uma metodologia eficiente, deve contemplar impactos ambientais a níveis local, regional e global que as IES promovem e não somente dentro do campus.

Em relação ao *Greening Campus*, esta não fornece uma estratégia adequada de cálculo e comparação do progresso rumo à sustentabilidade. Além disso, o manual é mais direcionado para a realidade das faculdades comunitárias canadenses. De modo geral, trata-se de um excelente recurso para os tomadores de decisão que pensam no

desenvolvimento de ações estratégicas, contudo, é insuficiente como ferramenta de avaliação, mensuração e comparação.

Já as metodologias baseadas em SGA's como a *ISO 14.001*, o *Ecocampus* e *STARS*, são complexas ao serem compatibilizadas para uso em IES uma vez que, foram originalmente concebidas para serem implementadas em empresas que buscam competitividade e atendimento a mercados exigentes do ponto de vista ambiental. Instituições de ensino superior não tem este foco. Além disso, IES não têm interesse em certificação ambiental ou selos verdes. Outra desvantagem ocorre principalmente em instituições de ensino de pequeno porte, pois, é preciso mobilizar recursos humanos e financeiros para manter a certificação, sendo que as estruturas desse nível de instituições não comportam tal investimento. Outrossim, as metas, missão e política ambiental determinadas, tornam-se muitas vezes inatingíveis. Por fim, o custo é outro fator que por vezes inviabiliza a adoção destas metodologias, uma vez que há demandas de consultorias, treinamentos, auditorias etc.

3. METODOLOGIA

Esta tese baseou-se em uma estratégia qualitativa de pesquisa, de caráter exploratório, por meio de uma pesquisa bibliográfica e de campo. Neste capítulo, pretende-se demonstrar os procedimentos metodológicos do tipo de pesquisa utilizado, onde será abordado o universo de estudo, o método de coleta de dados, e, por fim, as limitações do método escolhido.

Conforme hipótese da tese, esta pesquisa testa e adequa o método de Savanick, Baker e Perry (2009) para identificação e estimativa das emissões de N_r em dois campus universitários das Universidades Federais da Bahia e de Sergipe. Esse método foi escolhido para realização da pesquisa, pois, que apenas ele trata de fluxos de N em universidades. Já os demais conhecidos tratam da pegada do N, fato que não possibilita a realização dos objetivos previstos na tese.

A área de estudo desta pesquisa contempla o Campus Ondina da Universidade Federal da Bahia e o Campus São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe. Tem foco apenas nos fluxos N_r gerados pelas demandas dos campus, uma vez que o problema relacionado com o ciclo do nitrogênio é do aumento de N_r na atmosfera, que é resultante das ações antrópicas. Para estimativa das emissões considerou-se um ano escolar com 200 dias, uma vez que representa mais significativamente as contribuições dos campus estudados para o ciclo de nitrogênio. Para fins de padronização das emissões, durante os cálculos, todas emissões em g de NO_x foram convertidas para serem expressas em kg de $N \text{ ano}^{-1}$, logo, nos cálculos foi utilizado tanto o fator de transformação de 0,001 (referente a conversão de g \rightarrow kg) como o fator de conversão de NO_x em N, pois, para a massa de N presente em NO_x foi adotado, para todos os cálculos, a proporção utilizada para NO_2 (massa $N/NO_2 \rightarrow \text{massa} = 14/46$). Já para calcular a massa de N presente no NH_x depositado foi utilizada a proporção de N presente em NH_3^+ e NH_4 $((14/17 + 14/18) / 2)$.

3.1. Campus Ondina – UFBA

O Campus Ondina da UFBA está localizado em Salvador, capital do estado da Bahia, Brasil. Tem área total de aproximadamente 447.000 m² (~ 45 ha), dos quais 307.000 m² (~ 31 ha) é construída e 140.000 m² (~ 14 ha) é a área verde. A área verde é

caracterizada pela presença de Mata Atlântica. O campus é composto por 22 prédios, dentre eles a Escola de Medicina Veterinária, Hospital Veterinário da Faculdade de Comunicação, Geociências, Biologia, etc., e outros prédios que contemplam laboratórios de pesquisa que juntos demandam um consumo de energia expressivo. Em 2011, o campus contemplava cerca de 9.020 pessoas, incluindo alunos e funcionários. Os dados coletados no campus foram obtidos entre 2011 e 2014.

3.2. Campus São Cristóvão – UFS

De acordo com a Superintendência do campus, o mesmo possui uma área total de 1.542.807 m² (154,3 ha) dos quais 443.969,67 m² (44,4 ha) é de área urbana, e 1.098.837,83 m² (109,9 ha) é de área verde caracterizada pela presença da Mata Atlântica. O Campus é composto por edificações, onde funcionam a Reitoria, a Prefeitura do Campus, o Setor Esportivo, os Centros de Ciências (CCBS, CCET, CCSA e CECH), a Biblioteca Central – BICEN, o Restaurante Universitário - RESUN, o Núcleo de Tecnologia da Informação – NTI, o Arquivo Central, o Centro Editorial e Audiovisual – CEAV, Colégio de Aplicação – CODAP, onde frequenta uma população acadêmica composta de servidores públicos, terceirizados e alunos em cerca de 20.000 pessoas.

Para estimativa das emissões foram considerados dados dos anos de 2015 e 2016, sendo que, em 2015 o campus em estudo teve apenas 98 dias ativos, já em 2016 foram 184 dias ativos. Os dias de greve não foram contabilizados nessa pesquisa por não representar fidedignamente a contribuição do campus no tocante a sua geração de N reativo, com exceção da estimativa dos carros oficiais pois, o setor de transporte geralmente não entra em greve. Para realização desta pesquisa foram realizadas visitas técnicas ao Campus São Cristóvão a fim de serem obtidos os dados demandados para os cálculos das emissões de N pelo referido campus.

3.3. Fontes de dados

Os dados foram obtidos em diversos setores administrativos das duas IES estudadas. As fontes dos dados são detalhadas no quadro 2.

Quadro 2: Fontes dos dados utilizados para pesquisa e modelo matemático utilizado na estimativa.

| Fontes | UFBA | UFS |
|---------------------------------------|--|---|
| Energia | A energia utilizada pelos edifícios foi obtida no setor de gestão ambiental de prefeitura de campus. Considerou-se as emissões de N provenientes de geração da energia elétrica consumida no campus durante o período de 2012. Já o fator de emissão de NO _x pela geração de energia foi obtida através ECOINVENT (2009). | Considerou-se as emissões de N provenientes de geração da energia elétrica consumida no campus durante o período de 2015. Esse dado foi obtido pelas contas de energia mediante o setor de gestão ambiental do campus. Já o fator de emissão de NO _x foi obtido pelo ECOINVENT (2009). |
| Transportes terrestres e aéreo | Em relação às emissões de transporte, foi considerado o N emitido pelos veículos oficiais da universidade, veículos particulares e ônibus que transportam a comunidade acadêmica. Considerou-se para este trabalho o pior cenário das emissões de NO _x , partindo do pressuposto que cada usuário que faz uso de algum tipo de transporte (seja por carros, vans, ônibus), usa-o sozinho, ou seja, sem carona no caso dos carros e sem compartilhamento no caso de vans, ônibus. A frota de veículos oficiais bem como os combustíveis utilizados por eles foi obtida no setor de transportes do campus. A população da comunidade acadêmica foi obtida nos setores administrativos do campus. A média diária de carros particulares que entram no campus foi identificada por medição direta. A quilometragem média rodada pelos carros particulares foi obtida a partir de dados de endereços da comunidade acadêmica (via setor de matrícula do campus), onde adotou-se a média das distâncias dos três bairros que mais | Meios de transporte utilizados pela comunidade acadêmica (carros, ônibus e aeronaves) – Em relação às emissões de transporte, foi considerado o N emitido pelos veículos oficiais da universidade, veículos particulares e ônibus que transportam a comunidade acadêmica. Além disso, foram contempladas as emissões geradas a partir de viagens aéreas. A frota de veículos oficiais bem como os combustíveis utilizados por eles fora obtida no setor de transportes do campus. A população acadêmica total foi informada pelo setor administrativo do campus. A média diária de carros particulares, bem como a distância média percorrida dos usuários do campus foram obtidos através do setor de gestão ambiental do campus. A quantidade de usuários de ônibus que se deslocam para o campus bem como a distância percorrida por eles por dia, fora obtida através do setor de gestão ambiental do campus. Considerou-se para este trabalho o pior cenário das emissões de NO _x , partindo do pressuposto que |

| | | |
|------------------------------|--|--|
| | <p>contemplavam representantes da comunidade acadêmica do campus. Devido ao fato de toda a distribuição de dados serem normais por teste KS, utilizou-se o valor médio. Após isso, foi avaliada a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett e concluiu que os dados não foram homogêneos. Desse modo, por meio de análise de variância não paramétrica (Kruskal-Wallis) percebeu-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, porque o valor de p era igual a 0,3909 que é maior do que 0,05 (Um valor de p abaixo de 0,05 representa a diferença significativa).</p> <p>A identificação e quantificação das linhas de ônibus que servem o Campus Ondina foi obtida na Transalvador (2011). O fator NO_x emissão para diversos veículos e combustíveis diferentes foi obtido no MMA (2011).</p> <p>Em relação ao transporte aéreo, as distâncias médias percorridas em território nacional e internacional nos voos realizados por professores e alunos foi obtida via pró-reitoria de pós-graduação da universidade. O tipo de aeronave mais utilizada em voo doméstico e internacional foi obtida pela TAM (2012). O fator de emissão de NO_x foi obtido a partir do MCT (2010).</p> | <p>cada usuário que faz uso de algum tipo de transporte (seja por carros, vans, ônibus), usa-o sozinho, ou seja, sem carona no caso dos carros e sem compartilhamento no caso de vans, ônibus.</p> <p>Para o transporte aéreo foi computada a quilometragem de cada voo por ano. Os fatores de emissão de NO_x para diversos veículos levando em conta os respectivos combustíveis foram obtidos através do MMA (2013). As distâncias médias percorridas em território nacional nos voos realizados por professores e alunos foi obtida na pró-reitoria de pós-graduação da universidade. O fator de emissão de NO_x foi obtido a partir da ANAC (2014), já o tipo de aeronave mais utilizada em voos domésticos foi obtido a partir da CONDOR (2017). A partir de considerações da ANAC (2014), foi adotada a Aeronave A321 como sendo uma das mais usadas no país em voos domésticos, e a Aeronave B777 como sendo uma das usadas em voos internacionais. Já os dados das aeronaves adotadas foram obtidos através da CONDOR (2017).</p> |
| Alimentos | <p>A relação de alimentos consumidos nos Campus foi fornecida pelos proprietários e/ou os setores administrativos de restaurantes. O teor de proteína de cada tipo de alimento foi obtido a partir da Tabela Brasileira de Alimentos (UNICAMP, 2011). A percentagem de proteína em N foi obtida a partir de Esminger (1991) <i>apud</i> Savanick, Baker e Perry (2007).</p> | |
| Resíduos de alimentos | <p>Os resíduos de alimentos desperdiçados tanto na preparação quanto nas sobras das refeições servidas em restaurantes foram fornecidos</p> | |

| | |
|-----------------------------------|--|
| | pelo setor administrativo de cada restaurante do campus. Com essa quantidade e com o percentual de N (obtido via Tabela Brasileira de Alimentos, UNICAMP, 2011) de cada alimento discriminado, obteve-se o total da emissão referente aos resíduos dos restaurantes em de kg N ano ⁻¹ |
| Esgoto dos alimentos | Para o cálculo do esgoto gerado, levou-se em consideração a quantidade de N (obtido via Tabela Brasileira de Alimentos, UNICAMP, 2011) no alimento ingerido e depois multiplicado por 90 %, pois 90% dos alimentos ingeridos viram esgoto, Baker et al. (2001). |
| FBN | A FBN da Mata Atlântica foi obtida a partir do mapeamento de Filoso et al. (2006); A área verde do campus foi obtida nos projetos de arquitetura fornecidos no setor de planejamento campus. |
| Deposição Atmosférica de N | A deposição atmosférica do nitrogênio foi obtida pelos mapas de deposição modelados de NH _x e NO _y em Filoso et al., (2006). A área total do campus foi obtida nos projetos de arquitetura fornecido pelo setor de planejamento dos campus. |
| Res. das áreas verdes | A massa de resíduos das áreas verdes gerado foi obtida pelo setor administrativo dos campus. A percentagem média de nitrogênio na planta foi obtido a partir de Epstein (1965). |
| Run off | A deposição de nitrogênio atmosférico foi obtida a partir de mapas de deposição modelados de NH _x e NO _y de Filoso et al., (2006). A área urbana foi obtida nos projetos de arquitetura fornecido pelo setor de planejamento dos campus. |

3.4. Modelos Matemáticos

O cálculo utilizado para realização das estimativas foi adaptado do modelo de Savanick, Baker e Perry (2007) para a realidade das universidades brasileiras. Para estimativa foi necessário o uso das 18 equações a seguir:

Equação 1: Eletricidade

$$N_{Em} = EN_{dem} * C_{NO_xEm} * 0,001 * 14/46$$

Onde:

N_{Em} = emissão de N_r da eletricidade em kg

EN_{dem} = energia demandada no ano (kw)

C_{NO_xEm} = fator de emissão de NO_x da energia (g NO₂ kwh⁻¹)

0,001 = fator de conversão de g em kg

14/46 = conversão de NO₂ em N

Equação 2: Emissão de carros particulares

$$E_{CC} = Q_{CC} * d * C_{NO_xEm} * m_{N/NO_x} * 0,001 * daa$$

Onde:

E_{CC} = emissão de carros

Q_{CC} = quant. média de carros que entram no campus/dia (und)
 d = distância média percorrida(km)/pessoa x dia
 C_{NO_xEm} = fator de emissão de NO_x para carros ($g\ N\ km^{-1}$)
 m_{N/NO_x} = proporção de N em NO_x
 $0,001$ = fator de conversão g em kg
 daa = dias acadêmico ativos (dia)

Equação 3: Emissão de ônibus

$$E_{BC} = Q_{BC} * d * BP_{NO_xEm} * m_{N/NO_x} * 0,001 * daa$$

Onde:

E_{BC} = emissão de ônibus
 Q_{BC} = pessoas que andam de ônibus (und)
 d = distância percorrida (km) / pessoa x dia
 BP_{NO_xEm} = fator de emissão de NO_x dos passageiros ($g\ N\ km^{-1}$)
 m_{N/NO_x} = proporção de N em NO_x
 $0,001$ = fator de conversão de g em kg
 daa = dias acadêmico ativos (dia)

Equação 4: Emissão de N dos carros oficiais

$$E_{COC} = \left((d_d * D_{NO_xEm}) + (d_g * G_{NO_xEm}) \right) * m_{N/NO_x} * 0,001$$

Onde:

E_{COC} = emissão de N dos carros oficiais
 d_d = distância percorrida por carros movidos a diesel (km)
 D_{NO_xEm} = fator de emissão de NO_x nos motores diesel ($g\ N\ km^{-1}$)
 d_g = distância percorrida por carros movidos a gasolina (km)
 G_{NO_xEm} = fator de emissão de NO_x nos motores gasolina ($g\ N\ km^{-1}$)
 m_{N/NO_x} = proporção de N em NO_x
 $0,001$ = fator de conversão de g em kg

Equação 5: Volume de combustível usado em voo doméstico

$$V_{DT} = (F_{MCA321} * d_{DT}) / A321_{MRFT}$$

Onde:

V_{DT} = volume (l) de combustível usado em voo doméstico
 F_{MCA321} = capacidade máx. do tanque da aeronave A321 (l)
 d_{DT} = distância percorrida em voo doméstico (km)
 $A321_{MRFT}$ = distância máx. de voo de um A321 com tanque cheio(km)

Equação 6: Massa de combustível usado em voo doméstico

$$m_{DT} = v_{DT} * D_{AK}$$

Onde:

M_{DT} = massa (t) de combustível usado em voo doméstico
 V_{DT} = volume (l) combustível usado em voo doméstico

D_{AK} = densidade do Kerosene de aviação (t/l)

Equação 7: Emissão de N em voo doméstico

$$N_{EmDT} = (m_{DT} * AK_{EM} * m_{N/NO_S})/220$$

Onde:

N_{EmDT} = emissão de N em voo doméstico

m_{DT} = massa (t) de combustível usada em voo doméstico

AK_{EM} = fator de emissão de NO_x do kerosene de aviação ($kg\ N\ t^{-1}$)

m_{N/NO_S} = Proporção de N em NO_x

220 = capacidade de passageiros na aeronave A321

Equação 8: Volume de combustível usado em voo internacional

$$V_{IT} = (F_{MCB777} * D_{IT})/B777_{MRFT}$$

Onde:

V_{IT} = volume (l) combustível usado em voo internacional

F_{MCB777} = capacidade máx. do tanque da aeronave B777

D_{IT} = distância percorrida em voo internacional (km)

$B777_{MRFT}$ = distância máx. de voo de um B777 com tanque cheio (km)

Equação 9: Massa de combustível usado em voo internacional

$$M_{IT} = V_{IT} * D_{AK}$$

Onde:

M_{IT} = massa (t) de combustível usado em voo internacional

V_{IT} = volume (l) combustível usado em voo internacional

D_{AK} = densidade do Querosene de aviação (t/l)

Equação 10: Emissão de N em voo internacional

$$N_{EmIT} = (m_{IT} * AK_{EM} * m_{N/NO_X})/365$$

Onde:

N_{EmIT} = emissão de N em voo internacional

m_{IT} = massa (t) de combustível usada em viagem internacional

AK_{EM} = fator de emissão de NO_x do querosene de aviação ($kg\ N\ t^{-1}$)

m_{N/NO_X} = Proporção de N em NO_x

365 = capacidade de passageiros na aeronave B777

Equação 11: Quantidade de N no alimento humano

$$N_{ICY} = m_{FIC} * \%NCB$$

Onde:

N_{ICY} = quantidade de N contida nos alimentos do campus por ano

m_{FIC} = massa (kg) de alimentos que entram no campus por ano

$\%NCB$ = Percentual de N de alimentos consumidos no campus

Equação 12: Quantidade de N no resíduo orgânico

$$N_{DC} = m_{FDC} * \%_{NCB}$$

Onde:

N_{DC} = quantidade de N contida no resíduo orgânico por pessoa/ano

m_{FDC} = massa (kg) de alimento descartado (inclui o processo de preparação e desperdício de refeição)

$\%_{NCB}$ = percentual de N de alimentos consumidos no campus

Equação 13: Quantidade de N no efluente

$$N_{SS} = N_{ICY} * \%_{SS}$$

Onde:

N_{SS} = quantidade de N que segue para o esgoto

N_{ICY} = quantidade de N ingerida em nos alimentos do campus/ano

$\%_{SS}$ = percentual de N consumido no campus que vai para o esgoto

Equação 14: FBN no campus

$$BNF_C = BNF_{BAR} * a_{GAC}$$

Onde:

BNF_C = FBN no campus

BNF_{BAR} = FBN no ecossistema de Mata Atlântica

a_{GAC} = área verde do campus (ha)

Equação 15: Deposição atmosférica de N na área de estudo

$$N_{AD} = \left(m_{NOyha} * m_{\frac{N}{NOy}} \right) + \left(m_{NHxha} * m_{\frac{N}{NHx}} \right)$$

Onde:

N_{AD} = deposição atmosférica de N para área de estudo

m_{NOyha} = massa de NOy depositada por hectare na área de estudo

$m_{\frac{N}{NOy}}$ = proporção de N em NOy

m_{NHxha} = massa de NHx depositada por hectare na área de estudo

$m_{\frac{N}{NHx}}$ = proporção de N em NHx

Equação 16: Deposição atmosférica total de N no campus

$$N_{TAD} = N_{AD} * a_{TAC}$$

Onde:

N_{TAD} = deposição atmosférica de N total no campus

N_{AD} = deposição atmosférica de N para área de estudo

a_{TAC} = área total do campus (ha)

Equação 17: Quantidade de N nos resíduos de jardinagem

$$N_{GW} = V_{GW} * D_{GW} * 12 * \%_{NP}$$

Onde:

N_{GW} = quantidade de N em resíduos de jardinagem

V_{GW} = volume de resíduos de jardinagem coletados a cada mês no campus

D_{GW} = densidade dos resíduos de jardinagem

12 = meses do ano

$\%_{NP}$ = percentagem de N em plantas

Equação 18: Quantidade de N drenado via *runoff*

$$N_{RO} = N_{AD} * a_{UAC}$$

Onde:

N_{RO} = quantidade de N drenado no *runoff*

N_{AD} = deposição atmosférica de N para área de estudo

a_{UAC} = área urbana do campus (ha)

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. Energia

Tendo em vista a estimativa de emissão anual de N_r nos campus pesquisados, segue a memória de cálculo.

4.1.1. UFBA

No que se refere à energia elétrica total demandada pelo Campus Ondina, no ano de 2012 foram utilizados 7.813.714,49 kWh. A taxa de emissão é de 0,21g NO_2 /kWh gerado, logo, aplicando a equação 1, tem-se que a produção anual estimada de N é de **499 kg N ano⁻¹**, pois:

$$(7.813.714,49 \text{ kWh ano}^{-1}) \times (0,21 \text{ g NO}_2 \text{ kWh}^{-1}) \times (0,001) \times (14/46) = \mathbf{499,3 \text{ kg N ano}^{-1}}.$$

4.1.2. UFS

No que se refere à energia elétrica total demandada pelo Campus São Cristóvão, no ano de 2015 foram utilizados 23.007.066 kWh. A taxa de emissão é de 0,21g NO_2 /kWh gerado, logo, aplicando a equação 1, tem-se que a produção anual estimada de N é de **1.470,45 kg N ano⁻¹**, pois:

$$(23.007.066 \text{ kWh ano}^{-1}) \times (0,21 \text{ g NO}_2 \text{ kWh}^{-1}) \times (14/46) \times (0,001) = \mathbf{1.470,45 \text{ kg N ano}^{-1}}.$$

4.2. Transportes terrestres

4.2.1. UFBA

A medição direta dos veículos foi realizada durante 25 dias úteis, a fim de estimar a quantidade média de carros que entram no campus a cada dia. Após análise estatística, considerou-se uma estimativa de 3.698 ± 247 carros entram no campus a cada dia, o que representa uma média anual de 739.600 carros em um ano escolar. A distância estimada percorrida por cada veículo considerada foi de 28 km/dia, computando ida e volta. De acordo com MMA (2011), o fator de emissão de NO_x dos carros adotado para etanol e gasolina em carros fabricados entre 2000 e 2009, foi de $0,08 \text{ g NO}_x \text{ km}^{-1}$. Assim, aplicando a equação 2, o N_r emitido pelos carros que comutam para o campus foi estimado em **504,21 kg N ano⁻¹**, onde:

$$(3.698) \times (28 \text{ km dia}^{-1}) \times (0,08 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1}) \times (0,001) \times (14/46) \times (200 \text{ dias}) = \mathbf{504,21 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

Por outro lado, a quantidade de pessoas que viajam para o campus de ônibus foi estimada subtraindo a população absoluta (9.020 pessoas) pela quantidade de pessoas que viaja de carro (3.698 ± 247 pessoas estimadas usando o número de carros e considerando que cada carro comuta com um único ocupante). Para identificar as linhas de ônibus que trafegam no entorno do campus, foi identificado por meio de informações disponíveis no *site* da Companhia de Transportes de Salvador (Transalvador, 2011). Usando a trajetória dessas linhas, estima-se que cada passageiro viaja 42 km dia^{-1} para ir e vir ao campus. Baseado no MMA (2011), verificou-se um fator de emissão de NO_x de $1,29 \text{ g NO}_x \text{ km}^{-1}$ para a frota de ônibus urbanos em 2010. Sendo cerca de 5.322 pessoas que viajam em média 42 km dia^{-1} para a universidade, aplicando a equação 3, tem-se que a emissão total de N_r referente aos ônibus que servem ao longo dos 200 dias é de **17.551,49 kg N ano⁻¹**, onde:

$$(5.322) \times (42 \text{ km dia}^{-1}) \times (1,29 \text{ g NO}_2 \text{ km}^{-1}) \times (14/46) \times (0,001) \times (200 \text{ dias}) = \mathbf{17.551,49 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

Além disso, o setor de transportes informou que os veículos oficiais do campus percorreram no ano de 2012, 182.002 km utilizando diesel e 222.065 km usando gasolina.

De acordo com o MMA (2011) um carro leve de empresa utilizando diesel emite 0,7 g NO_x km⁻¹ e um carro leve, fabricado entre 2000 e 2009 o uso de gasolina emite uma média de 0,078 g NO_x km⁻¹. Assim, aplicando a equação 4, a emissão total de N_r referente a combustão gerada pelos carros oficiais é aproximadamente **43,97 kg N ano⁻¹**, onde:

$$\{[(182.002 \text{ km ano}^{-1}) \times (0,7 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1})] + [(222.065 \text{ km ano}^{-1}) \times (0,078 \text{ gNO}_2/\text{km rodado})]\} \times (14/46) \times (0,001) = \mathbf{43,97 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

4.2.2. UFS

Os dados obtidos no setor de meio ambiente da UFS indicam que O setor de meio ambiente da UFS informou que 6.201 pessoas usam veículos leves movidos a álcool e gasolina, que rodam em média 22,2 km dia⁻¹. Utilizando a mesma consideração de um carro por pessoa, logo, 6.201 carros leves movidos a álcool e gasolina entram e saem do campus diariamente. De acordo com MMA (2013), o fator de emissão de NO_x para veículos leves movidos a álcool e gasolina é de 0,03 gNO₂ km⁻¹. Aplicando a equação 2, tem-se que **123,17 kg N ano⁻¹**, são emitidos por estes veículos onde:

$$(6.201) \times (22,2 \text{ km dia}^{-1}) \times (0,03 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1}) \times (0,001) \times (14/46) \times (98 \text{ dias}) = \mathbf{123,17 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

O setor de meio ambiente da UFS informou que 76 pessoas usam veículos particulares leves movidos a diesel que rodam 22,2 km dia⁻¹. Utilizando a mesma consideração de um carro por pessoa, logo, 76 veículos leves movidos a diesel entram e saem do campus diariamente. De acordo com MMA (2013), o fator de emissão de NO_x para veículos particulares leves movidos a diesel é de 0,06 gNO₂ km⁻¹. Aplicando a equação 2, tem-se que **3,01 kg N ano⁻¹**, são emitidos por estes veículos onde:

$$(76) \times (22,2 \text{ km dia}^{-1}) \times (0,06 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1}) \times (14/46) \times (0,001) \times (98 \text{ dias}) = \mathbf{3,01 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

O setor de meio ambiente da UFS informou que 470 pessoas usam veículos médios (Vans) terceirizados movidos a diesel que rodam 37,4 km dia⁻¹. Utilizando a mesma consideração de um carro por pessoa, logo, 470 veículos médios (Vans) terceirizados movidos a diesel entram e saem do campus diariamente. De acordo com

MMA (2013), o fator de emissão de NO_x para veículos médios (Vans) terceirizados movidos a diesel é de $1,15 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1}$. Aplicando a equação 2, tem-se que **602,92 kg N ano⁻¹**, são emitidos por estes veículos onde:

$$(470) \times (37,4 \text{ km dia}^{-1}) \times (1,15 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1}) \times (14/46) \times (0,001) \times (98 \text{ dias}) = \mathbf{602,92 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

O setor de meio ambiente da UFS informou que 10.556 pessoas usam ônibus e que rodam em média $45,8 \text{ km dia}^{-1}$. De acordo com MMA (2013), o fator de emissão de NO_x para ônibus movidos a diesel é de $1,29 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1}$. Aplicando a equação 3, tem-se que os ônibus emitem **18.601,62 kg N ano⁻¹**, onde:

$$(10.556) \times (45,8 \text{ km dia}^{-1}) \times (1,29 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1}) \times (14/46) \times (0,001) \times (98 \text{ dias}) = \mathbf{18.601,62 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

O setor de transporte do campus informou que os carros oficiais do campus leves movidos a álcool e gasolina rodam em média $1.714 \text{ km dia}^{-1}$ e que os Carros oficiais médios movidos a diesel rodam $2.350 \text{ km dia}^{-1}$. De acordo com MMA (2013), o fator de emissão de NO_x para veículos leves movidos a álcool e gasolina é de $0,03 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1}$ e para veículos movidos a diesel é de $1,15 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1}$. Assim, aplicando a equação 4, tem-se que toda frota oficial emite **167,63 kg N ano⁻¹**, onde:

$$[(1714 \text{ km dia}^{-1}) \times (0,03 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1})] \times [(2350 \text{ km dia}^{-1}) \times (1,15 \text{ gNO}_2 \text{ km}^{-1})] \times (14/46) \times (0,001) \times (200 \text{ dias}) = \mathbf{167,63 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

4.3. Transporte aéreo

4.3.1. UFBA

De acordo com a TAM (2012), o A320 Airbus é um dos aviões mais utilizados para viagens domésticas, já o Boeing B737 para viagens internacionais, logo, essas foram as aeronaves consideradas nesta pesquisa para fins de cálculo.

Para a Pró-reitoria de Pós-graduação da UFBA, em 2011, 2.643.006 km foram percorridos de avião por funcionários da universidade e os estudantes em viagens domésticas. De acordo com AIRBUS (2012), o A320 com ocupação total (220 passageiros) e tanque de combustível cheio (30.030 litros) percorre cerca de 5.556 km. Segundo o MCT (2010), a densidade de querosene é de 0,79 kg l⁻¹ e seu fator de emissões de NO_x é de 14,1 kg N t⁻¹ de combustível. Desta forma, estimou-se que um total de **48.429,21 kg N ano⁻¹** são emitidos a partir dos voos domésticos, onde:

- Aplicou-se a equação 5 para determinação do volume total de litros demandados pelos voos domésticos.

$V(l) = 30.030(l)/5.556(km) \times 2.643.006 (km \text{ ano}^{-1}) = 14.285.361,80 \text{ l necessários}$ para os voos demandados no ano.

- Em seguida, aplicou-se a equação 6 para determinação do cálculo da massa de combustível gasta nos voos

$0,79 = m \text{ (kg)} / 14.285.361,80 \text{ (l ano}^{-1}) \rightarrow m = 11.285.435,822 \text{ kg ano}^{-1}$ ou $11.285,43 \text{ t ano}^{-1}$

- Para finalizar a estimativa da emissão de N gerada nos voos domésticos aplicou-se a equação 7, donde:

$(11.285,43 \text{ t ano}^{-1}) \times (14,1 \text{ kg N t}^{-1}) \times (14/46) = \mathbf{48.429,21 \text{ kg N ano}^{-1}}$ são emitidas pelos voos domésticos demandados pelo campus.

Já para os voos internacionais a Pró-reitoria de pós-graduação, informou que, em 2010, 253.776 km foram percorridos em viagens internacionais. Segundo a Boeing (2012), a distância máxima percorrida por um B737 com a ocupação integral (365 pessoas) e tanque de combustível cheio (181.280 l) é 14.685 km. De acordo com o MCT (2010), a densidade de querosene, é de 0,79 kg de l⁻¹ e o seu fator de emissões de NO_x é

14,1 kg ton⁻¹ de combustível. Desta forma, verificou-se que cerca de **10.620,42 kg N ano⁻¹** são emitidos a partir dos voos internacionais, onde:

- Aplicou-se a equação 8 para determinação do volume total de litros demandados pelos voos internacionais.

$V(l) = 181.280(l)/14.685(km) \times 253.776 (km \text{ ano}^{-1}) = 3.132.755,41 \text{ l}$ necessários para os voos demandados no ano.

- Em seguida, aplicou-se a equação 9 para determinação do cálculo da massa de combustível gasta nos voos

$0,79 = m (kg) / 3.132.755,41 (l \text{ ano}^{-1}) \rightarrow m = 2.474.876,77 \text{ kg ano}^{-1}$ ou 2.474,87 t ano⁻¹.

- Para finalizar a estimativa da emissão de N gerada nos voos internacionais aplicou-se a equação 10 para estimar a emissão de N gerada nos voos internacionais, donde:

$E = 2.474,87 (t \text{ ano}^{-1}) \times 14,1 (kg \text{ N t}^{-1}) \times 14/46 = \mathbf{10.620,42 \text{ kg N ano}^{-1}}$ são emitidas por voos internacionais.

4.3.2. UFS

De acordo com a CONDOR (2017), o A320 Airbus é um dos aviões mais utilizados para viagens domésticas, logo, essa foi a aeronave considerada nesta pesquisa para fins de cálculo.

De acordo com a Pró-reitoria de Pós-graduação da universidade, em 2015 foram percorridos de avião 565.100 km em viagens domésticas demandadas pela comunidade acadêmica do Campus São Cristóvão. De acordo com a CONDOR (2017), a autonomia da aeronave A320 com capacidade total (220 passageiros) e tanque de combustível cheio (30.030 litros) percorre cerca de 5.556 km. De acordo com ANAC (2014), a densidade de querosene é de 0,79 kg l⁻¹ e seu fator de emissão de NO_x é de 14,1 kg N t⁻¹ de combustível. Desta forma, verificou-se que cerca de **10.354,61 kg N ano⁻¹** são emitidos a partir dos voos domésticos, onde:

- Aplicou-se a equação 5 para determinação do volume total de litros demandados pelos voos domésticos.

$V(l) = 30.030(l)/5.556(km) \times 565.100(km \text{ ano}^{-1}) = 3.054.347,19 \text{ l}$ necessários para os voos demandados no ano.

- Em seguida, aplicou-se a equação 6 para determinação do cálculo da massa de combustível gasta nos voos

$$0,79 = m \text{ (kg)}/3.054.347,19 \text{ (l)} \rightarrow m = 2.412.934,28 \text{ kg ou } 2.412,93 \text{ t.}$$

- Para finalizar a estimativa da emissão de N gerada nos voos domésticos aplicou-se a equação 7, pois:

$E = 2.412,93 \text{ (t)} \times 14,1 \text{ (kg N t}^{-1}) \times 14/46 = \mathbf{10.354,61 \text{ kg de N ano}^{-1}}$ são emitidas por voos domésticos demandados pelo referido campus

OBS: De acordo com a Pró-Reitoria de Pós-Graduação do referido campus, neste ano não foram registrados voos internacionais.

4.4. Alimentos que entram no campus

4.4.1. UFBA

De acordo com o setor administrativo dos restaurantes do campus anualmente entram no campus um total de 642.790,20 kg ano⁻¹ de alimentos variados. Com o teor de proteína de cada alimento discriminado na Tabela de Composição alimentar brasileira (UNICAMP, 2011) foi possível calcular a quantidade de proteína presente nos alimentos existentes no campus. Além disso, segundo Esminger (1992) 16% de proteína é N, por conseguinte, 1,34 % de cada alimento é composto por N, por fim, aplicando a equação 11 estimou-se que, **8.613,38 kg N ano⁻¹** são emitidos por conta dos alimentos que entram neste campus, pois:

$$(642.790,20 \text{ kg ano}^{-1}) \times 1,34\% = \mathbf{8.613,38 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

4.4.2. UFS

De acordo com o setor administrativo dos restaurantes do campus anualmente entram no campus 1.059.960 kg de alimentos variados. Com o teor de proteína de cada alimento discriminado na Tabela de Composição alimentar brasileira (UNICAMP, 2011) foi possível calcular a quantidade de proteína presente nos alimentos existentes no

campus. Além disso, segundo Esminger (1992) 16% de proteína é N, logo, 1,34 % de cada alimento é N, por fim, aplicando a equação 11 estimou-se que, **14.203,46 kg N ano⁻¹** são emitidos por conta dos alimentos que entram neste campus, sendo:

$$(1.059.960 \text{ kg ano}^{-1}) \times 1,34\% = \mathbf{14.203,46 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

4.5. Resíduos dos alimentos que entram no campus

4.5.1. UFBA

O total de resíduos de alimentos descartados anualmente no campus foi informado pelos restaurantes como sendo 146.837,15 kg. Do mesmo modo que foi considerado que 1,34% do alimento total adquirido é N, a quantidade estimada de N presente neste resíduo foi de **1.967,61 kg de N ano⁻¹**, pois, aplicando a equação 12 tem-se que:

$$(146.837,15 \text{ kg ano}^{-1}) \times (1,34\%) = \mathbf{1.967, 61 \text{ kg de N ano}^{-1}}$$

4.5.2. UFS

O total de resíduos de alimentos descartados anualmente no campus foi informado pelos restaurantes como sendo 111.560 kg ano⁻¹. Do mesmo modo que foi considerado que 1,34% do alimento total adquirido é N, a quantidade estimada de N presente neste resíduo foi de **1.494,90 kg N ano⁻¹**, pois aplicando a equação 12 tem-se que:

$$(111.560 \text{ kg ano}^{-1}) \times (1,34 \%) = \mathbf{1.494,90 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

4.6. Efluentes dos alimentos que entram no campus

4.6.1. UFBA

Subtraindo a quantidade de alimentos em entram no campus (642.790,20 kg) da quantidade de alimentos desperdiçados (146.837,15 kg), totalizaram 495.953,05 kg ano⁻¹ de alimentos que são ingeridos no campus. Do mesmo modo que 1,34% do alimento adquirido é composto por N, entende-se que 6.645,77 kg N ano⁻¹ são ingeridos no campus. De acordo com Baker et al., (2001), 90% de nitrogênio consumido na dieta é excretada e eliminados no sistema de esgoto, logo, aplicando a equação 13, estima-se que **5.981,19 kg N ano⁻¹** seguem para o sistema de esgoto, pois:

$$(6.645,77 \text{ kg N ano}^{-1}) \times (90\%) = \mathbf{5.981,19 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

4.6.2. UFS

Subtraindo a quantidade de alimentos em entram no campus (1.059.960 kg) da quantidade de alimentos desperdiçados (111.560 kg), totalizaram 948.400 kg ano⁻¹ de alimentos que são ingeridos no campus. Do mesmo modo que 1,34% do alimento adquirido é composto por N, entende-se 12.708,56 kg N ano⁻¹ são ingeridos no campus. De acordo com Baker et al., (2001), 90% de nitrogênio consumido na dieta é excretada e eliminados no sistema de esgoto, logo, aplicando a equação 13, estima-se que **11.437,70 kg N ano⁻¹** seguem para o sistema de esgoto, pois:

$$(12.708,56 \text{ kg N ano}^{-1}) \times (90\%) = \mathbf{11.437,70 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

4.7. FBN

4.7.1. UFBA

De acordo com Filoso et al., 2006, a FBN da Mata Atlântica brasileira dessa região é de 21,6 kg N ha⁻¹ ano⁻¹. A área verde do campus é caracterizada pela presença de Mata Atlântica introduzida e totaliza uma área aproximada de 14 ha. Desse modo, aplicando a equação 14 tem-se que a FBN estimada do campus é de **302,40 kg N ano⁻¹**, pois:

$$(21,6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) \times (14 \text{ ha}) = \mathbf{302,40 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

4.7.2. UFS

Segundo Filoso et al., 2006, a FBN da Mata Atlântica nessa região é de 21,6 kg N ha⁻¹ ano⁻¹. A área verde do campus é caracterizada pela presença de Mata Atlântica introduzida e totaliza 109,9 ha. Desse modo, aplicando a equação 14 tem-se que a FBN estimada do campus é de **2.373,84 kg N ano⁻¹**

$$(21,6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) \times (109,9 \text{ ha}) = \mathbf{2.373,84 \text{ kg N ano}^{-1}}$$

4.8. Deposição Atmosférica de N

4.8.1. UFBA

Deposição atmosférica de nitrogênio – De acordo com Filoso et al., 2006, as espécies reativas de nitrogênio que compõem a deposição atmosférica são NO_y (NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) + outras espécies simples com um átomo de O) + NH_x ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$).

Para a área de estudo, a deposição média de NO_y é de $0,75 \text{ kg NO}_y \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a deposição média de NH_x é de $1,75 \text{ kg NH}_x \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Logo, aplicando a equação 15 tem-se que a deposição de N para área de estudo é $(0,75 \text{ kg NO}_y \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 14/46) + (1,75 \text{ kg NH}_x \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 14/18) \rightarrow 0,22 + 1,36 \rightarrow \mathbf{1,59 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}}$.

Conforme já é sabida, a área total do Campus Ondina é de 45 ha. Aplicando a equação 16 tem que:

$$1,59 \text{ kg N ha} \times 45 \text{ ha} = \mathbf{71,55 \text{ Kg N ano}^{-1} \text{ são depositados pela atmosfera}}$$

4.8.2. UFS

Deposição atmosférica de nitrogênio – De acordo com Filoso et al., 2006, as espécies reativas de nitrogênio que compõem a deposição atmosférica são NO_y (NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) + outras espécies simples com um átomo de O) + NH_x ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$).

Para a área de estudo, a deposição média de NO_y é de $0,75 \text{ kg NO}_y \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a deposição média de NH_x é de $1,75 \text{ kg NH}_x \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Logo, aplicando a equação 15 tem-se que a deposição de N para área de estudo é $(0,75 \text{ kg NO}_y \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 14/46) + (1,75 \text{ kg NH}_x \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 14/18) \rightarrow 0,22 + 1,36 \rightarrow \mathbf{1,59 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}}$.

Conforme já é sabida, a área total do Campus São Cristóvão é de 154,3 ha. Logo, aplicando a equação 16 tem que:

$$1,59 \text{ kg N ha} \times 154,3 \text{ ha} = \mathbf{245,33 \text{ Kg N ano}^{-1} \text{ são depositados pela atmosfera}}$$

4.9. Resíduos das áreas verdes

4.9.1. UFBA

De acordo com a prefeitura do campus são gerados cerca de 87.960 kg ano⁻¹ de resíduos jardim (restos de troncos, poda de galhos, grama, folhas, etc.). De acordo com Epstein (1965), a percentagem média de N em plantas é de 1,5%, de modo que aplicando a equação 17, tem-se que a quantidade estimada de N presente nesses resíduos é de aproximadamente **1.319,40 kg N ano⁻¹**.

$$(87.960 \text{ kg ano}^{-1}) \times (1,5\% \text{ N}) = \mathbf{1.319,40 \text{ kg N ano}^{-1}}.$$

4.9.2. UFS

De acordo com a prefeitura do campus, são gerados cerca de 105.000 kg ano⁻¹ de resíduos (restos de troncos, poda de galhos, grama, folhas, etc.). De acordo com Epstein (1965), a percentagem média de N em plantas é de 1,5%, de modo que aplicando a equação 17, tem-se que a quantidade estimada de N presente nesses resíduos é de aproximadamente **1.575,00 kg N ano⁻¹**.

$$(105.000 \text{ kg ano}^{-1}) \times (1,5\% \text{ N}) = \mathbf{1.575,00 \text{ kg N ano}^{-1}}.$$

4.10. Run off de N

4.10.1. UFBA

É considerado o escoamento da deposição atmosférica de nitrogênio em áreas urbanas em que o N depositado é drenado através da água da chuva. Aplicando a equação 18 tem-se que:

(Deposição atmosférica de N 1,59 kg N ha⁻¹ ano⁻¹) x (31 ha, área urbana do campus), estimou-se que cerca de **49,3 kg N ano⁻¹** são drenados pelo escoamento neste campus.

4.10.2. UFS

Já para o campus da UFS, aplicando a equação 18 tem-se que:

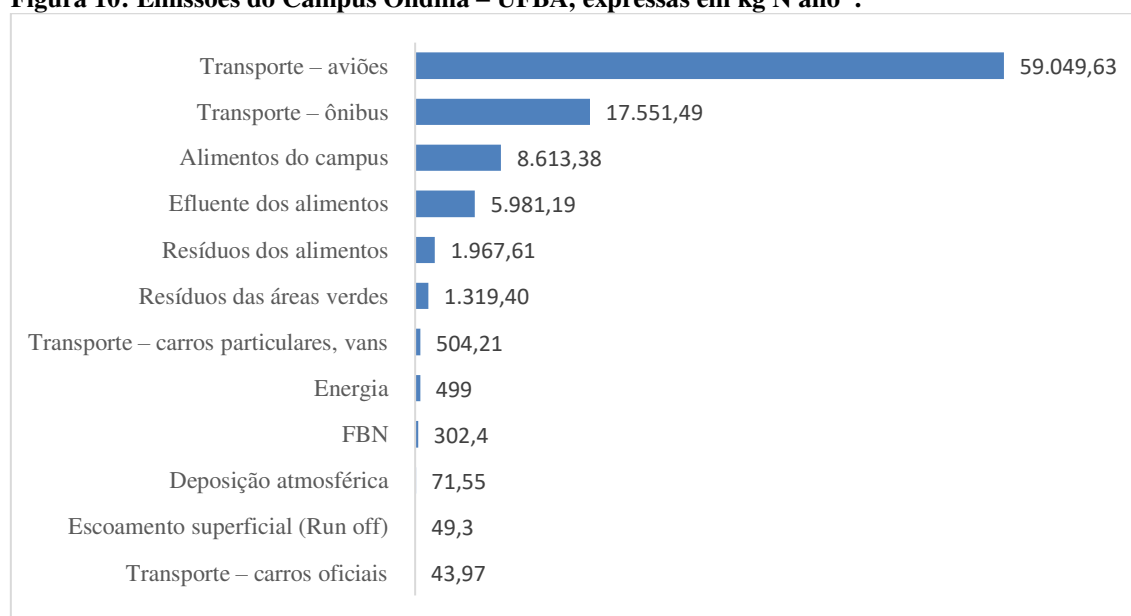
(Deposição atmosférica de N 1,59 kg N ha⁻¹ ano⁻¹) x (44,4 ha, área urbana do campus), estimou-se que **70,60 kg N ano⁻¹** são drenados pelo escoamento neste campus.

4.11. Resultados do Campus Ondina, UFBA

O total anual estimado de N_r emitido neste campus é de **95.953,13 kg N ano⁻¹**.

De acordo com a figura 10 observa-se uma síntese dos resultados das emissões da UFBA, expressas em kg N ano⁻¹.

Figura 10: Emissões do Campus Ondina – UFBA, expressas em kg N ano⁻¹.



O quadro 3 apresenta em ordem crescente, as quatro maiores emissões, bem como sua representatividade em relação ao total das emissões estimadas, onde é possível observar que somente o **transporte realizado pelos usuários dos aviões representa cerca de 60% de toda emissão estimada pelo campus**. Ao considerar essa e as emissões referentes ao transporte de ônibus, alimentos do campus, ao efluente dos alimentos, juntas totalizam cerca de 95% do total estimado no campus. No caso desse campus, é de fundamental importância à adoção de medidas efetivas direcionadas a minimização da geração de N, tendo em vista estas quatro maiores emissões.

Quadro 3: Representatividade das maiores emissões do Campus Ondina - UFBA

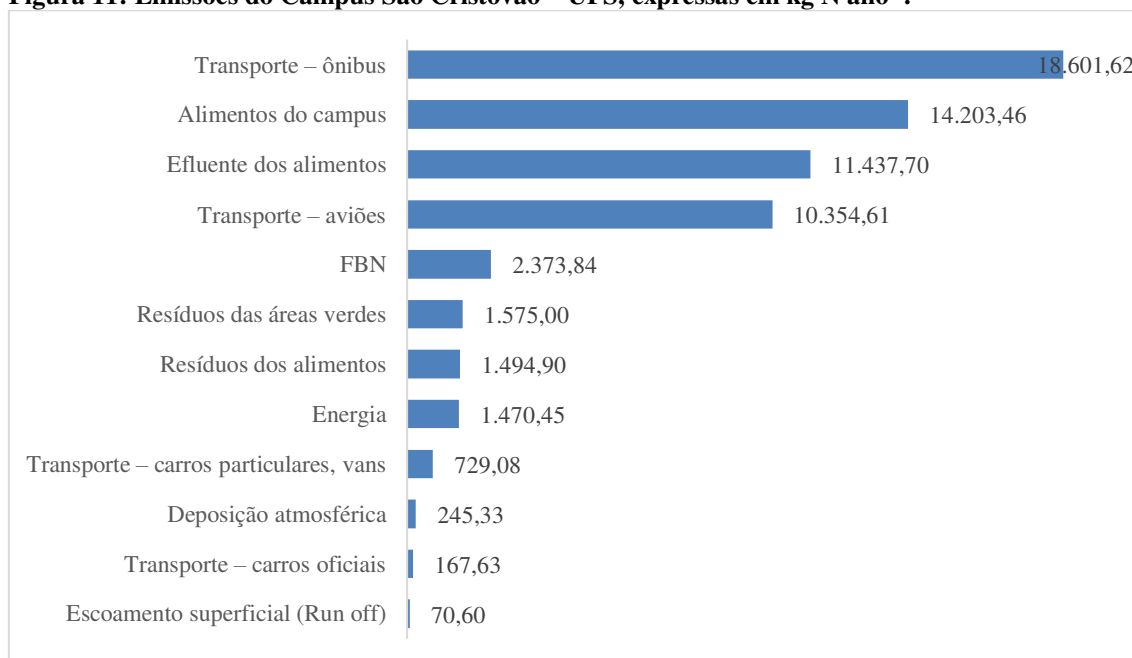
| | | |
|--|------------------|---------------|
| Efluente dos alimentos | 5.981,19 | 6,23% |
| Alimentos do campus | 8.613,38 | 8,97% |
| Transporte – ônibus | 17.551,49 | 18,29% |
| Transporte – aviões | 59.049,63 | 61,54% |
| Representatividade das maiores emissões do campus | 91.195,69 | 95,03% |

4.12. Resultados do Campus São Cristóvão, UFS

O total anual estimado de N_r emitido neste campus é de **62.724,22 kg N ano⁻¹**.

De acordo com a figura 11 observa-se uma síntese dos resultados das emissões da UFS, expressa em kg N ano⁻¹.

Figura 11: Emissões do Campus São Cristóvão – UFS, expressas em kg N ano⁻¹.



De acordo com a quadro 4 observa-se em ordem crescente as quatro maiores emissões, bem como sua representatividade em relação ao total das emissões estimadas, onde é possível observar que somente **o transporte realizado pelos usuários dos ônibus representa cerca de 30% de toda emissão estimada pelo campus**. Ao considerar essa e as emissões referentes aos alimentos do campus, ao efluente dos alimentos e ao transporte de aviões, juntas totalizam cerca de 85% do total estimado no campus. No caso desse campus, é de fundamental importância à adoção de medidas efetivas direcionadas a minimização da geração de N, tendo em vista estas quatro maiores emissões.

Quadro 4: Representatividade das maiores emissões do Campus São Cristóvão - UFS

| | | |
|--|------------------|---------------|
| Transporte – aviões | 10.354,61 | 15,28% |
| Efluente dos alimentos | 11.437,70 | 18,23% |
| Alimentos do campus | 14.203,46 | 22,64% |
| Transporte – ônibus | 18.601,62 | 29,65% |
| Representatividade das maiores emissões do campus | 54.597,39 | 85,80% |

Diante da realidade diagnosticada nos campus estudados, observa-se que as quatro emissões que mais se destacam em ambos os campus são **transporte de ônibus, alimentos que entram no campus, efluentes dos alimentos que entram no campus e transporte de aviões**. No entanto, percebe-se que estas emissões seguem em ordens diferentes nestes campus.

Cabe ressaltar que esta tese não fez comparação das emissões dos referidos campus, uma vez que a coleta de dados foi realizada em momentos distintos, pois, quando o Campus Ondina estava sendo pesquisado, havia uma fase de muito capital injetado pelo governo federal para realização da expansão da universidade, com isso, acredita-se que houve um pico de emissão de N_r . Já durante a coleta de dados do Campus São Cristóvão, a universidade e o governo federal estavam em momento de crise, logo, não houve a devida injeção de recursos, fato que culminou no corte de gastos e consequentemente na redução da emissão de N_r . Diante dessa diferença de realidades, não foi viável realizar a comparação das emissões desses campus neste trabalho.

A partir do cenário atual foi possível diagnosticar diversos aspectos ambientais importantes nas universidades (desperdício de alimentos; aumento do uso de energia (no Brasil a utilização de termoelétrica está a aumentar devido a condições de seca que afetam a hidrelétrica); a supressão da vegetação para a expansão da universidade (implica em: redução da macrodrenagem da água de inundação, redução da biodiversidade, a redução de fixação de N e de carbono, o aumento da poluição sonora pelas construções e urbanização do campus, o aumento da temperatura, etc). A utilização de transportes para atender comunidade do campus tem também um impacto significativo sobre o meio ambiente. A falta de ciclovias, a ausência de metrô, a insegurança da cidade e a ausência de alternativa de mobilidade pública urbana contribui para o aumento do número de pessoas que usam carros a cada dia).

Diante de todos esses fatos, e tendo em vista a lógica da máxima promoção da sustentabilidade referida a IES, sugere-se a este campus, algumas alternativas voltadas a redução dessas emissões, tendo em vista as ações preventivas pautadas em conceitos e métodos de tecnologias limpas e ecologia industrial, sendo que as quatro primeiras são as que tem mais prioridade uma vez que são significativas as suas contribuições de N_r em ambos os campus estudados (Vide quadro 5).

Quadro 5: Sugestões de ações para mitigação da emissão do N_r nos campus estudados

| Aspecto | Sugestão |
|--|---|
| Transporte aéreo | Reduzir no que for possível as viagens aéreas, incentivando o uso de videoconferências em casos de avaliação de trabalhos |
| Transporte Ônibus | Prezar pelo uso de transportes coletivos para fins de minimização da geração do N _r |
| Alimentos que entram no campus | Evitar dietas ricas em proteína animal |
| Efluentes dos alimentos | Promover estudos que viabilizem a utilização da urina humana gerada do campus possibilitando formas de segregação, tratamento, armazenamento e aplicação, a fim de usar seu nitrogênio como fertilizante nas áreas verdes do campus, ou fornecê-la como um insumo agrícola fora do campus; |
| Energia | A substituição de parte da eletricidade usada no campus por outra fonte de energia mais limpa (como a energia solar ou eólica), mediante estudo de viabilidade; a melhoria das estruturas de edifícios, a fim de promover uma maior ventilação e iluminação natural evitando o uso de equipamentos consumidores de energia (ar condicionado, lâmpadas etc.); a aquisição de equipamentos e acessórios que consomem menos energia; |
| Transportes terrestres (carros, van's) | Incentivar o uso de transporte menos impactante a exemplo do uso de bicicletas, inclusive dentro e fora da comunidade acadêmica (quando for possível, pois é evidente tanto o problema da mobilidade urbana como a falta de segurança pública nas cidades) com o objetivo de reduzir significativamente as emissões de N _r de transporte; Para carros particulares, criar um programa de carona solidária de modo a minimizar a geração da emissão de N _r . |
| Transportes oficiais | Traçar um programa de logística integrada ao diversos setores do campus para fazer uso dos carros oficiais uma vez que otimiza o uso do combustível e consequentemente reduz a geração de N _r |
| FBN | Evitar a devastação área verde para preservar a biodiversidade e preservar a estrutura do solo e seus processos associados; No paisagismo campus, priorizar a introdução de espécies nativas. Em alguns casos, quando se busca a recuperação de solos degradados, é importante introduzir espécies de crescimento precoce, pois, capturam mais carbono e nitrogênio, a fim de promover mais a fertilidade do solo; |
| Deposição Atmosférica | Manter uma área verde mínima no campus para garantir boa quantidade deposição atmosférica |
| Resíduos das áreas verdes | Reduzir o descarte de resíduos de jardim através de métodos de compostagem; |
| <i>Run off</i> | Manter uma área verde mínima no campus para evitar o escoamento e garantir boa quantidade deposição atmosférica infiltrada no solo |
| Resíduos de alimentos | Reduzir o descarte de resíduos de alimentos através de métodos de compostagem. |

Para fins que sejam eficientemente implantadas, é de fundamental importância que para cada alternativa adotada pela instituição, seja realizada uma campanha de

sensibilização abordando conceitos de educação ambiental de forma contínua para toda comunidade acadêmica do campus.

Outrossim, cada universidade é uma autarquia e portanto é responsabilidade de cada instituição gerar um cronograma de implantação com metas de execução específicas referentes às alternativas sugeridas, quando viável e exequível.

Um exemplo positivo para a sustentabilidade da UFS é a criação da UFS ambiental, institucionalizado fevereiro de 2012 e que tem por objetivo seguir as diretrizes propostas pela norma ISO 14.000, buscando evidenciar ações e comportamentos ambientais para Universidade, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental e promovendo práticas ambientais em todos os setores da UFS. Além disso, outras ações estão sendo direcionadas às seguintes questões: gestão de resíduos, licitação sustentável, qualidade de vida no ambiente de trabalho, sensibilização de capacitação dos servidores, uso racional de recursos e construções sustentáveis.

Já na UFBA, existe o programa AGUAPURA que foi implementado para reduzir o consumo de água. De acordo com o setor responsável pelo programa, antes de sua instalação, o consumo de água variava entre 20.000 e 35.000 m³ mês⁻¹ entre os anos de 2001 e 2004. No início do programa em 2001, o consumo diminuiu para uma média de 23.000 m³ mês⁻¹. Em 2007, o consumo foi reduzido para 17.000 m³ mês⁻¹ e em 2008, diminuiu para aproximadamente 13.000 m³ mês⁻¹. O sucesso deste programa permitiu uma redução significativa de recursos financeiros e ambientais através do uso sustentável da água na Universidade. Programas dessa natureza são fundamentais para o incentivo e o surgimento de novas práticas de educação ambiental na sociedade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde algum tempo, pesquisadores da área ambiental das mais diversas partes do mundo, publicam suas pesquisas sobre a questão ambiental afirmando que ela é urgente e perigosa à salubridade do planeta. E de fato é um compromisso que necessita ser assumido por toda a sociedade, uma vez que centenas de alertas têm sido emitidos em relação aos limites de sustentação do planeta estarem ultrapassados e disso implicar em consequências drásticas e ameaçadoras do ponto de vista socioambiental. Para uma mudança de tamanha envergadura, faz-se necessário que o conhecimento seja voltado para a sustentabilidade em todas as áreas de conhecimento, por isso, as IES representam umas das instituições mais capazes para liderar essa relevante questão. Além disso, elas têm a reponsabilidade de serem formadoras de cidadãos tomadores de decisão. Outrossim, há quase 50 anos diversas declarações/eventos internacionais vêm tratando do efetivo empenho das IES com a sustentabilidade. Declarações mais recentes avaliam o nível de inserção de parâmetros ambientais incorporados às suas ações. Desde 1987, o Relatório de *Brundtland* já enfatizava a importância da educação em todos os níveis para que o desenvolvimento sustentável pudesse ser buscado, fato que tem sido corroborado nas respectivas declarações subsequentes.

Diante dessas questões, esta tese se propôs a identificar e estimar as fontes de N_r no Campus Ondina da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e no Campus São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe (UFS), bem como propor alternativas para mitigar e/ou compensar a geração de N_r nos referidos campus. Neste sentido, o total da emissão estimada no Campus Ondina/UFBA foi de 90.000 kg de N_r , sendo que a emissão mais significativa está representada pelos voos e que representa 60% do total emitido no referido campus. Já o total da emissão anual estimada no Campus São Cristóvão/UFS foi cerca de 65.000 kg de N_r , sendo que a emissão mais significativa está representada pelos transporte de ônibus que representa cerca de 30% do total emitido no referido campus.

A tese teve sua hipótese confirmada, pois, através da adaptação do método de Savanick, Baker e Perry (2009) foi possível identificar e estimar as emissões de N_r de campus universitários de instituições de ensino superior brasileiras.

Apesar de todas as considerações apresentadas, a importância deste trabalho se dá pelo fato de ter sido a primeira pesquisa brasileira a estimar o N_r em IES no Brasil. Logo, como pioneiro, o mesmo abre precedentes servindo de modelo para outras IES avaliarem quanto de N_r estão emitindo e com isso propor ações para redução, mitigação, ou compensação desta geração. Além disso, por ser um conjunto de modelos que fornece dados quantitativos, mesmo que a nível de estimativa, esta pesquisa trata-se de uma ferramenta que pode ser aperfeiçoada tomando como partida as avaliações iniciais contidas neste estudo, sendo nesse caso uma contribuição tendo em vista os fluxos de nitrogênio em um determinado campus, bem como quantificar esse residual podendo contribuir como indicador a partir de programas computacionais que reúnam em um só *software* essa identificação e quantificação de nitrogênio produzido pela IES ou até mesmo em qualquer outro ambiente da administração pública.

Cabe ressaltar que esta pesquisa trata apenas da parte dos N_r em universidades. Para fins de IES mais sustentáveis, não é necessariamente obrigada a adoção de alguns dos programas já existentes (EcoCampus, STARS, SGA, ISO 14.000 etc), no entanto, é essencial que adotem ações sob a lógica de ferramentas ambientais como a Produção Mais Limpa, controlando todas as entradas e saídas (recursos naturais, insumos, subprodutos, resíduos, efluentes etc) da IES, de modo que isso seja precisamente contabilizado e monitorado e também da Ecologia Industrial, ferramenta ambiental que busca a promoção de uma simbiose dos fluxos de entradas e saídas entre diversas instituições, fato que teoricamente visa a promoção de ciclo mais fechado, de modo que o meio ambiente não receba qualquer tipo de resíduo com potencial poluidor. Além disso, faz-se necessário a adoção de política ambiental devidamente integrada a um plano de ações preventivas, mitigatórias, corretivas e compensatórias.

Por fim, para um futuro mais sustentável é imperativo que as IES liderem a causa ambiental, pois, uma vez que isso seja realidade, consequentemente as sociedades estarão mais bem representadas no que se refere aos seus líderes tomadores de decisão e, por conseguinte, o parâmetro ambiental passará a ser devidamente inserido na sociedade.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. (2012). A321 Aircraft: A321 Range, Specifications (dimensions, seating capacity, performance), Cabin. Disponível em: <<http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/a321>>. Acessado em 20 jan de 2012.

ALVES, A. R. Responsabilidade ambiental: os benefícios de um sistema de gestão ambiental (SGA) em instituições de ensino superior (IES). **Revista da Universidade Ibirapuera**. n.13, pp. 24 a 33, 2017.

ALSHUWAIKHAT, H. M.; ABUBAKAR, I. An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, pp. 1777 a 1785, 2008.

AMARAL, L. P.; MARTINS, N.; GOUVEIA, J. B. Quest for a Sustainable University: a review. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 16, n. 2, 2015.

ANAC (2014). Inventário nacional de emissões atmosféricas da aviação civil. Agência Nacional de Aviação Civil, 2014. Disponível em: <http://inventariogeesp.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/30/2014/04/brasil_mcti_aereo.pdf>. Acesso em 07 fev. 2017.

ÁVILA, L.V.; LEAL FILHO, W.; BRANDLI, L. L.; MACGREGOR, C.J.; MOLTHAN-HILL, P.; ÖZUYAR, P.G.; MOREIRA, R.M. Barriers to innovation and sustainability at universities around the world. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, n. 15, pp. 1268 a 1278, 2017.

BAKER L., HOPE D., XU Y., EDMONDS J., LAUVER L. (2001). Nitrogen balance for the Central Arizona–Phoenix (CAP) ecosystem. **Ecosystems** v. 4, pp. 582 a 602.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 3 ed, São Paulo: Saraiva, 2011.

BARLETT, P. F., CHASE, G. W. **Sustainability on campus stories and strategies for change.**; The MIT Press.337 f, 2004.

BARTH, M. Many roads lead to sustainability: a process-oriented analysis of change in higher education. **International Journal of Sustainability in Higher Education**. v. 14, pp. 160 a 175, 2013.

BAUMAN, A.G.; BURT, J.A.; FEARY, D.A.; MARQUIS, E.; USSEGLIO, P. Tropical harmful algal blooms: An emerging threat to coral reef communities? **Marine Pollution Bulletin** v. 60, pp. 2117 a 2122, 2010.

BELLOU, C.; PETRENITI, V.; SKANAVIS, C. Greening the campus intentions: a study of the University of the Aegean non-academic staff. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 18, pp. 520 a 532, 2017.

BEMAN, J.M.; SACHDEVA, R.; FUHRMAN, J.A.; Population ecology of nitrifying Archaea and Bacteria in the Southern California Bight. **Environmental Microbiology**, v. 12, pp.1282 a 1292, 2010.

BODELIER, P.L.E.; STEENBERGH, A.K. Interactions between methane and the nitrogen cycle in light of climate change. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 9-10, pp. 26 a 36, 2014.

BOEING. (2012). Technical Characteristics – Boeing 777-200LR and 777-300ER. Disponível em: <http://www.boeing.com/commercial/777family/pf/pf_lrproduct.html>. Acessado em 20 jan. de 2012.

BORGES, M.S.; NASCIMENTO, R.F.S.; AIDA, A.K.; KRAFT, P.B. Tratamento de resíduos galvânicos de laboratório da Universidade Federal do Paraná. In: **3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, 2 a 5 de outubro, Salvador, 2005.

CALDER, W.; CLUGSTON, R. M. International efforts to promote higher education for sustainable development. **Planning for Higher Education**, v. 31, n. 3, pp. 30 a 44, 2003.

CLARKE, A.; KOURI, R. "Choosing an appropriate university or college environmental management system." **Journal of Cleaner Production**, v.17, pp 971 a 984, 2009.

CLUGSTON, R.M.; CALDER, W. Critical Dimensions of Sustainability in Higher Education. Sustainability and University Life. Ed. Leal Filho, W. Frankfurt/M., Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien: Peter Lang. pp. 1 a15, 1999.

CONDOR (2017) – Aeronaves. Disponível em <<https://www.condor.com/pt/voar-desfrutar/condor-partner/nossa-frota/airbus-a321-200.jsp>>. Acessado em 07 fev. 2017.

DELGADO, C. C. J.; VÉLEZ, C. Q. Sistema de Gestión Ambiental Universitario: Caso Politécnico Gran Colombiano. Disponível em: <<http://ecnam.udistrital.edu.co/pdf/r/edge02/node03.pdf>>. Acessado em: 09 dez. 2017.

DIAZ, R.J.; HAGG, H.E.; ROSENBERG, R. The importance of oxygen to the worth of our oceans (in press), 2013.

DISE, N.B.; ASHMORE, M.; BELYAZID, S.; BLEEKER, A.; BOBBINK, R.; DEVRIES, W.; ERISMAN, J.W.; SPRANGER, T.; STEVENS, C.; VAN DEN BERG, L. Nitrogen deposition as a threat to European terrestrial biodiversity. In: Sutton, M., et al. (eds.) **The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives**. Cambridge University Press. ISBN 978-1-107-00612-6, 2011.

DISTERHEFT, A. Sustainability at the Campus Environmental Management Systems (EMS) implementation processes and practices at European Higher Education Institutions. Universidade Aberta – Lisboa, Portugal. Dissertação de mestrado. 109f, 2011.

EAUC. EcoCampus. 2018. Disponível em: <<http://www.eauc.org.uk/ecocampus>>, acessado em 14 mar. 2018.

ECOINVENT. Database of Swiss Life Cycle Inventories. Ecoinvent database v2.2. 2009. Disponível em: <www.ecoinvent.org>. Acessado em 14 mar. 2013.

EPSTEIN, E. (1965). Mineral metabolism. Plant Biochemistry, ed. J. Bonner, J. E. Varner, 438-68. New York: Academic. 1054 pp.

ERISMAN, J. W.; BLEEKER, A.; GALLOWAY, J.; SUTTON, M. A. Reduced nitrogen in ecology and the environment. **Environmental Pollution**. v. 150, pp. 140 a 149, 2007.

ERISMAN, J.W.; GALLOWAY, J.N.; SUTTON, M.A.; KLIMONT, Z.; WINIWATER, W. How a century of ammonia synthesis changed the world. **Nature Geoscience**, v. 1, pp. 636 a 639, 2008.

ERISMAN, J.W.; GALLOWAY, J.N.; SEITZINGER, S.; BLEEKER, A.; BUTTERBACH-BAHL, K. Reactive nitrogen in the environment and its effect on climate change, Current Opinion. **Environmental Sustainability**, v. 3, pp. 281 a 290, 2011.

ERISMAN, J.W.; GALLOWAY, J.N.; SEITZINGER, S.; BLEEKER, A.; DISE, N. B.; PETRESCU, A. M. R.; LEACH, A. M.; DE VRIES, W. Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. **Philos. T. Roy. Soc. B**, v. 368, 2013.

FADEEVA, Z.; MOCHIZUKI, Y. Higher education for today and tomorrow: university appraisal for diversity, innovation and change towards sustainable development. **Sustainability Science**, v. 5, n. 2, pp., 249 a 256, 2010.

FAHOR. Faculdade Horizontina. Disponível em: <
<http://www.fahor.com.br/noticias/n167.htm>>. Acessado em: 08 out. 2017.

FERES, Y, N.; ANTUNES, F, Z. Gestão ambiental em instituições de ensino: programa ecoeficiência e sistema de gestão ambiental do Senac São Paulo. **Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. Curitiba/PR, 2007.

FILOSO, S.; MARTINELLI, L. A.; HOWARTH, R. W.; BOYER, E. W.; DENTENER, F. Human activities changing the nitrogen cycle in Brazil. **Biogeochemistry**. Nitrogen cycling in the Americas: Natural and Anthropogenic Influences and Controls, pp. 61 a 89.

FOWLER, D.; COYLE, M.; SKIBA, UTE.; SUTTON, M. A.; CAPE, J. N.; REIS, S.; SHEPPARD, L. J.; JENKINS, A.; GRIZZETTI, B.; GALLOWAY, J. N.; VITOUSEK, P.; LEACH, A.; BOUWMAN, A. F.; BAHL, K. B.; DENTENER, F.; STEVENSON, D.; AMANN, M.; VOSS, M. The global nitrogen cycle in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 368, 2013.

FOWLER, D.; STEADMAN, C. E.; STEVENSON, D.; COYLE, M.; REES, R. M. U.; SKIBA, M.; SUTTON, M. A.; CAPE, J. N.; DORE, A. J.; SIMPSON, M. D.; ZAEHLE, S.; STOCKER, B. D.; RINALDI, M.; FACCHINI, M. C.; FLECHARD, C.; NEMITZ, R. E.; TWIGG, M. J.; ERISMAN, W.; GALLOWAY, J.N. Effects of global change during the 21st century on the nitrogen cycle. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 15, pp. 1747 a 1868, 2015.

GALLOWAY, J.N. The global nitrogen cycle: Changes and consequences. **Environmental Pollution**, v. 102, pp.15 a 24, 1998.

GALLOWAY, J.N. The Global Nitrogen Cycle. **Treatise on Geochemistry**, v. 8, p. 557 a 583, 2003.

GALLOWAY, J.N.; ABER, J.D.; ERISMAN, J.W.; SEITZINGER, S.P.; HOWARTH, R.W.; COWLING, E.B.; COSBY, B.J. The Nitrogen Cascade. **BioScience**, v. 53, n. 4, 2003.

GALLOWAY, J.N.; DENTENER, F. J.; CAPONE, D. G.; BOYER, E. W.; HOWARTH, R. W.; SEITZINGER, S. P.; ASNER, G. P.; CLEVELAND, C. C.; GREEN, P. A.; HOLLAND, E. A.; KARL, D. M.; MICHAELS, A. F.; PORTER, J. H.; TOWNSEND, A. R.; VOROSMARTY, C. J. Nitrogen cycles: past, present and future. **Biogeochemistry**, v. 70, pp. 153 a 226, 2004.

GALLOWAY, J.N.; TOWNSEND, A.R.; ERISMAN, J.W.; BEKUNDA, M.; CAI, Z.; FRENEY, J.R.; MARTINELLI, L.A.; SEITZINGER, S.P.; SUTTON, M.A. Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. **Science**, v. 320, pp. 889 a 892, 2008.

GALLOWAY, J.N.; LEACH, A. M.; BLEEKER, A.; ERISMAN, J. W. A chronology of human understanding of the nitrogen cycle. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**. v. 368, 2013.

GALLOWAY, J.N; WINIWARTER, W.; LEIP, A.; LEACH, A. M.; BLEEKER, A.; ERISMAN, J. W. Nitrogen footprints: past, present and future. **Environmental Research**. v. 9, n. 11, 2014.

GARCIA, G.; SANTOS, O. A; CARDOSO, A. A. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. **Química Nova**, v. 36, n. 9, pp. 1468 a 1476, 2013.

GENG, Y.; LIU, K.; XUE, B.; FUJITA, T. Creating a “green university in China: a case of Shenyang University. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 13 a 19, 2013.

GHIZZI, H.P. Da gestão ao sistema: estudo de caso na universidade federal da fronteira sul – campus chapecó. 2015. Artigo disponível em:< <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/1384>>. Acessado em 17 de Abr. de 2018.

GUIMARAES, S.S.M.; TOMAZELLO, M.G.C. A formação universitária para o ambiente: educação para a sustentabilidade. **Revista Ambiente e Educação**, v.8, n.1, pp. 55 a 71, 2003.

INEP. INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO INSTITUCIONAL EXTERNA. 2014. Disponível em:<
http://download.inep.gov.br/educacao_superior/avaliacao_institucional/instrumentos/2014/instrumento_institucional.pdf>. Acessado em 18 de Abril de 2018.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, et al., editors Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University. 2013. Disponível em<
http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGI_AR5_SPM_brochure.pdf>. Acessado em 23 de Maio de 2016.

JACOBI, P. Educação ambiental: cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, v. 3, n. 118, pp. 189 a 205, 2003.

JORGE, M. L.; MADUEÑO, J. H.; CEJAS, M. Y. C.; PEÑA, F. J. A. An approach to the implementation of sustainability practices in Spanish Universities. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, pp. 34 a 44, 2015.

JORGE, M. L.; HERNANDEZ, A. C.; PEÑA, F. J. A. Frenos y aceleradores para la implantación de la responsabilidad social en las universidades españolas. **Prisma Social**, v. 10, pp. 233 a 270, 2013.

KIPERSTOK, A.; NASCIMENTO, F.R.A.; KIPERSTOK, A. C. O tratamento em separado da urina e das fezes é uma solução viável ou uma utopia? **Revista DAE**. Edição: Maio/2010.

LARSEN, T. A.; PETERS, I.; ALDER, A.; EGGEN, R.; MAUREN, M.; MUNCKE, J. Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. **Environmental science & technology**, Suíça, v. 35, n. 9, pp. 192 a197, 2001.

LARSEN, T. A.; GUJER, W. The concept of sustainable urban water management. **Water science & technology**, v. 35, n. 9, pp. 3 a 10, 1997.

LEACH, A. M.; MAJIDI, A.N.; GALLOWAY, J.N.; GREENE, A.J. (2013). Toward Institutional Sustainability: A Nitrogen Footprint Model for a University. **Research and Solutions**. v. 6, n. 4, 2013.

LEAL FILHO, W. Sustainability at Universities – Opportunities, Challenges and Trends. Frankfurt: Peter Lang, 2009.

LEAL FILHO, W. Transformative approaches to sustainable development at universities working across disciplines. Switzerland: Springer International Publishing, 2015.

LEAL FILHO, W. Sustainable Development Research at Universities in the United Kingdom. Springer International Publishing, 2017.

LEAL FILHO, W.; CASTRO, L. B. P.; NEWMAN, J. Handbook of Theory and Practice of Sustainable Development in Higher Education, v. 1. Springer International Publishing, 2017.

LEAL FILHO, W.; SHIEL, C.; PAÇO, A.D. Integrative approaches to environmental sustainability at universities: An overview of challenges and priorities. **Journal of Integrative Environmental Sciences**, v. 12, n. 1. pp 1 a 14, 2015.

LEE, K.; BARKER, M.; MOUASHER, A. Is it even espoused? An exploratory study of commitment to sustainability as evidenced in vision, mission, and graduate attribute statements in Australian universities. **Journal of Cleaner Production**, v. 48, n. 10, pp. 20 a 28, 2013.

LIENERT, J.; LARSEN, T. Considering user attitude in early development of environmentally friendly technology: a case study of no mix toilets. **Environmental science & technology**, v. 40, pp. 4838 a 4844, 2006.

LOZANO, R.; LUKMAN, R.; LOZANO, F. J.; HUISINGH, D.; LAMBRECHTS, W. **Declarations for sustainability in higher education: becoming better leaders, through addressing the university system.** Journal of Cleaner Production, v. 48, pp. 10 a 19, 2013.

LOZANO, R.; CEULEMANS, K.; ALMEIDA, M.A.; HUISINGH, D.; LOZANO, F. J.; WAAS, T.; LAMBRECHTS, W.; LUKMAN, R. HUGÉ, J. **A review of commitment and implementation of sustainable development in higher education: results from a worldwide survey.** Journal of Cleaner Production, v. 108, pp 1 a 18, 2015.

LUKMAN, R.; GLAVIC, P. "What are the key elements of a sustainable university. **Clean Technology & Environmental Policy**, v. 9, pp. 103 a 114, 2007.

LUKMAN, R.; TIWARY, A.; AZAPAGIC, A. Towards greening a university campus: The case of the University of Maribor, Slovenia. **Resources, Conservation and Recycling**, 2009.

MACHADO, R.E.; FRACASSO, E.M.; TOMETICH, P.; NASCIMENTO, L.F. Práticas de Gestão ambiental em universidades brasileiras. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 7, n. 3, pp. 37 a 51, 2013.

MARINHO, M. B. Universidades e sustentabilidade: Uma pesquisa em Instituições de Educação Superior Brasileiras. Universidade Federal da Bahia, Brasil. Tese de doutorado. 190 f., 2014.

MARINHO M. B.; GONÇALVES, M. S.; KIPERSTOK, A. Water conservation as a tool to support sustainable practices in a Brazilian public university. **Journal of Cleaner Production**, v. 62, pp. 98 a 106, 2014.

MARCOMIN, F.E.; SILVA, A.D.V. A sustentabilidade no ensino superior brasileiro: alguns elementos a partir da prática de educação ambiental na Universidade. **Revista Contrapontos**, v. 9, n 2. pp. 104 a 117, 2009.

MARTIN, J.; SAMELS, J.E. The Sustainable University: Green Goals and New Challenges for Higher Education Leaders. Johns Hopkins University Press. 352p., 2012.

MCT (2010). Emissões de gases de efeito estufa no transporte aéreo. Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Science and Technology Ministry, 2010. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/330053.html>>. Acessado em 10 out. 2014.

MILLS, G; HARMENS, H. Ozone pollution: a hidden threat to food security. Edinburgh, UK: CEH, IGBP Vegetation, 2011.

MILUTINOVIC', S.; NIKOLIC', V. Rethinking higher education for sustainable development in Serbia: an assessment of Copernicus charter principles in current higher education practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 62, n. 1, pp. 107-113, 2014.

MMA (2011). Primeiro inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários. Environmental ministry, 2011. Disponível em : <http://www.cntdespoluir.org.br/Downloads/Inventario_22_03.pdf>. Acessado em 6 out. 2014.

MMA (2013). Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviaros_2013.pdf>. Acessado em 07 fev. 2017.

NEJATI, M. Assessment of sustainable university factors from the perspective of university students. **Journal of Cleaner Production**, v. 48, pp. 101 a 107, 2013.

NICOLAIDES, A. The implementation of environmental management towards sustainable universities and education for sustainable development as an ethical imperative. **International Journal of Sustainability in Higher Education**. v. 7, n. 4, pp. 414 a 424, 2006.

NIMA. Núcleo Interdisciplinar em Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.nima.puc-rio.br/index.php>>. Acessado em: 14 jan. 2018.

OIUDSMA. Asociación internacional de universidades por el desarrollo sostenible y el medio ambiente. 2002. Disponível em: <<http://www.ugr.es/~oiudsma/Welcome.htm>>. Acessado em: 10 abr. 2017.

OELREICH, K. V. Environmental certification at Malardalen. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 5, n. 2, pp. 133 a 146, 2004.

OTTERPOHL, R.; ALBOLD, A.; OLDENBURG, M. Source control in urban sanitation and waste management: ten systems with reuse of resources. **Water science & technology**, v. 39, pp. 153 a 160, 1999.

PAYNE, R.J.; STEVENS, C.J.; DISE, N.B.; GOWING, D.J.; PILKINGTON, M.G.; PHOENIX, G.K.; EMMETT, B.; ASHMORE, M. Impacts of atmospheric pollution on the plant communities of British acid grasslands. **Environmental Pollution**, v. 159, pp. 2602 a 2608, 2011.

PAYNE, R.J.; DISE, N.B.; STEVENS, C.J.; GOWING, D.J. Impact of nitrogen deposition at the species level. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**. v. 113, n. 3. pp. 984 a 987, 2013.

POPESCU, M.; BELEAU, C. Improving management of sustainable development in universities. **Bulletin of the Transilvania University of Braşov**, v. 7, n. 56, pp. 97 a 106, 2014.

RIBEIRO, A. L.; BRESSAN, L.W.; LEMOS, M.F.; DUTRA, C.; NASCIMENTO, L.F. Avaliação de barreiras para implementação de um sistema de gestão ambiental na UFRGS, **Anais do XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção** – Porto Alegre, RS, 2005.

ROCKSTROM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, III F. S.; LAMBIN, E.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H.; NYKVIST, B.; DE WIT, C. A.; HUGHES, T.; VAN DER LEEU, W. S.; RODHE, H.; SORLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P.; FOLEY, J. Planetary Boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. **Ecology and Society Journal**, v. 14, p. 32, 2009.

SAMMALISTO, K.; SUNDSTROM, A.; HOLM, T. Implementation of sustainability in universities as perceived by faculty and staff e a model from a Swedish University. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, pp. 45 a 54, 2015.

SAYED, A.; KAMAL, M.; ASMUSS, M. Benchmarking tools for assessing and tracking sustainability in higher educational institutions: Identifying an effective tool for the University of Saskatchewan. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 14, n. 4, pp. 449 a 465, 2013.

SAVANICK, S.; BAKER, L.; PERRY, J. Case study for evaluating campus sustainability: nitrogen balance for the University of Minnesota. **Urban Ecosystems**, v. 10, pp. 119 a 137, 2007.

SEITZINGER, S.; HARRISON, J.A.; BÖHLKE, J.K.; BOUWMAN, A.F.; LOWRANCE, R.; PETERSON, B.; TOBIAS, C.; VAN DRECHT, G. Denitrification across landscapes and waterscapes: A synthesis. **Ecological Applications**, v. 16, pp. 2064 a 2090, 2006.

SELMAN, M.Z.; GREENHALGH, S.; DIAZ, R.; SUGG, Z. Eutrophication and Hypoxia in Coastal Areas: A Global Assessment of the State of Knowledge, World Resource Institute. Relatório n 1, Março de 2008. Disponível em: <http://www.wri.org/sites/default/files/pdf/eutrophication_and_hypoxia_in_coastal_areas.pdf>. Acessado em 24 de maio de 2016.

SHARP, L. Green campuses: The road from little victories to systemic transformation. **International Journal of Sustainability in Higher Education**. v.3, n.2, pp. 128 a 145, 2002.

SILVA, A.A.; GONZAGA, C.A.M. Sustentabilidade Ambiental nas Universidades Estaduais do Estado do Paraná. **VII Congresso Brasileiro e Engenharia de produção**. Ponta Grossa/PR. 2017.

SIMKINS, G.; NOLAN, A. Environmental management system in universities. Occasional paper for the environmental association for universities and colleges (EAUC), 2004.

SMIL, V. Enriching the Earth Fritz Haber, Carl Bosch and the Transformation of World Agriculture. The MIT Press, Cambridge, USA, 338 p., 2001.

SOUSA, E. S.; SOUSA, R. K. C.; CARVALHO, D.B. A função social das licitações sob a ótica do plano de gestão de logística sustentável – um estudo nas universidades federais brasileiras. **Anais do XIV Colóquio Internacional de Gestão Universitária – CIGU**. Florianópolis/SC, 2014.

STARS. Stars 2018. Disponível em: < <http://www.aashe.org/wp-content/uploads/2017/04/STARS-flyer.pdf>. >. Acessado em 01 de março de 2018.

STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTRÖM, J.; CORNELL, S.E.; FETZER, I.; BENNETT, E. M.; BIGGS, R.; CARPENTER, S.R.; DE VRIES, W.; DE WIT, C.A.; FOLKE, C.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; MACE, G.M.; PERSSON, L.M.; RAMANATHAN, V.; REYERS, B.; SÖRLIN, S. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, 2015.

SUTTON, M.A.; OENEMA, O.; ERISMAN, J.W.; LEIP, A.; VAN GRINSVEN, H.; WINIWARTER, W. Too much of a good thing. **Nature**, v. 472, pp. 159 a 161, 2011.

SUTTON, M.A.; REIS, S.; BILLEN S.G.; CELLIER, P.; ERISMAN, J.W.; MOSIER, A.R.; NEMITZ, E.; SPRENT, J.; GRINSVEN, H.V.; VOSS, M.; BEIER, C.; SKIBA, U. Nitrogen & Global Change. **Biogeosciences**, v. 9, pp. 1691 a 1693, 2012.

SUTTON, M.A.; REIS, S.; RIDDICK, S.N.; DRAGOSITS, U.; NEMITZ, E.; THEOBALD, M. R.; TANG, Y.S.; BRABAN, C. F.; VIENO, M.; DORE, A. J.; MITCHELL, R. F.; WANLESS, S.; DAUNT, F.; FOWLER, D.; BLACKALL, T. D.; MILFORD, C.; FLECHARD, C. R.; LOUBET, B.; MASSAD, R. S.; CELLIER, P.; PERSONNE, E.; COHEUR, P.F.; CLARISSE, L.; VAN DAMME, M.; NGADI, Y.; CLERBAUX, C.; SKJØTH, C. A.; GEELS, C.; HERTEL, O.; WICHINK KRUIT, R. J.; PINDER, R. W.; BASH, J. O.; WALKER, J. T.; SIMPSON, D.; HORVÁTH, L.; MISSELBROOK, T. H.; BLEEKER, A.; DENTENER, F.; DE VRIES, W. Towards a

climate dependent paradigm of ammonia emission and deposition, **Philos. T. Roy. Soc. B**, v. 368, 2013.

TAM Airlines (2012); TAM Airlines Fleet. Disponível em:
<<http://www.tam.com.br/b2c/vgn/v/index.jsp?vgnextoid=bb2f8c2d83874210VgnVCM1000000b61990aRCRD>>. Acessado em 18 jan. de 2012.

TAUCHEN, J.; BRANDLI, L. L. A Gestão Ambiental em Instituições de Ensino Superior: Modelo para implantação em campus universitário. **Gestão & Produção**. v. 13, p. 503 a 515, 2006.

THE TALLOIRES DECLARATION, 1990. Disponível em:
<http://talloiresnetwork.tufts.edu/wp-content/uploads/DeclarationinPortuguese.pdf>.
Acesso em 1 de Março de 2018.

TILBURY, D.; MULÀ, I.; RYAN, A.; MADER, M.; DLOUHÁ, J.; MADER, C.; BENAYAS, J.; DLOUHÝ, J.; ALBA, D. Catalysing Change in Higher Education for Sustainable Development: A review of professional development initiatives for university educators. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 18, n. 5, pp. 798 a 820, 2017.

TRANSALVADOR (2011); Bus Lines. Disponível em:
<<http://www.transalvador.salvador.ba.gov.br/transporte/categorias/onibus/linhas.php>>. Acessado em 10 out. de 2011.

UMACS Sustainability organizations in higher education. Upper midwest association for campus sustainability. 2013. Disponível em: <<http://www.umacs.org/sustainability-organizations-higher-education>>. Acessado em 25 abr. de 2013

UNEP. Emerging issues update: Excess Nitrogen in the Environment. Year Book 2014, 2014.

UNICAMP (2011). Brazilian Table Food Composition. University of Campinas. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf>. Acessado em 20 abr. de 2017.

UNISINOS. (2018). ISO 14.001. Disponível em:
<<http://www.unisinos.br/institucional/meio-ambiente/iso-14001>>. Acessado em 15 Abril de 2018.

VAN DINGENEN, R.; DENTENER, F.J.; RAES, F.; KROL, M.C.; EMBERSON, L.; COFAL, J. The global impact of ozone on agricultural crop yields under current and future air quality legislation. **Atmos. Environ**, v. 43, pp. 604 a 618, 2009.

VAZ, C.R.; FAGUNDES, A.B.; OLIVEIRA, I.L.; KOVALESKI, J. L.; SELIG, P.M. Sistema de Gestão Ambiental em Instituições de Ensino Superior: uma revisão. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, n. 3, p. 45 a 58, 2010.

VELAZQUEZ, L.; MUNGUIA, N.; PLATT, A.; TADDEI, J. Sustainable university: what can be the matter? **Journal of Cleaner Production**, v. 14, pp. 810 a 819, 2006.

WALLIS DE VRIES, M.F.; KROS, H.; KROEZE C.; SEITZINGER, S. P. Assessing planetary and regional nitrogen boundaries related to food security and adverse environmental impacts. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, pp. 392 a 402, 2013.

WALLIS DE VRIES, M.F. Linking species assemblages to environmental change: Moving beyond the specialist-generalist dichotomy. **Basic and Applied Ecology**. v. 15, pp. 279 a 287, 2014.

WARD, B. The Global Nitrogen Cycle. In: Fundamentals of Geobiology (ed: Knoll, A.H.; Canfield, D.E.; Konhauser, K. O.), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. First Edition. Blackwell Publishing, 2012.

WEENEN VAN, H. Towards a vision of a sustainable university. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 1, n.1, pp. 20 a 34, 2000.

WHO. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide, global update 2005: summary of risk assessment. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2006.

WHO. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. Report of World Health Organisation. Copenhagen/Denmark, 2008.

WWF. Nitrogen: too much of a vital resource. Science Brief. WWF Netherlands, Zeist, The Netherlands. ISBN 978-90-74595-22-3, 2015.

ZAEHLE, S. Terrestrial nitrogen-carbon cycle interactions at the global scale. **Philos. T. Roy. Soc. B**, v. 368, 2013.